

LIVIO J. ALARMA ZUNINO

LEVANTAMENTO DE REDES GPS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências pela Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1 9 9 1

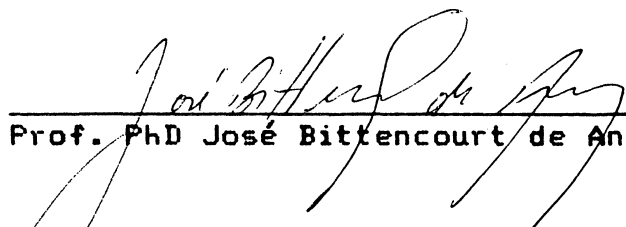
LEVANTAMENTO DE REDES GPS

por

LIVIO J. ALARMA ZUNINO

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas pela Comissão formada pelos Professores :

ORIENTADOR:


Prof. PhD José Bittencourt de Andrade


Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos


Prof. Ms.C François Albert Rosier

Curitiba, 26 de Fevereiro de 1991

aos meus pais

e

aos que acreditaram

- ao Brasil;
- aos meus pais;
- ao prof. Camil Gemael;
- ao meu orientador prof. José Bittencourt de Andrade;
- ao prof. Milton de Azevedo Campos;
- ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas;
- aos meus professores;
- ao CNPq;
- aos meus colegas;
- aos meus amigos;
- à firma Geokosmos, Geodésia e Consultoria Ltda.

meus agradecimentos

SUMARIO

TÍTULO.....	i
TERMO DE APROVAÇÃO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xii

CAPÍTULO I

1	INTRODUÇÃO.....	1
---	-----------------	---

CAPÍTULO II

2	ASPECTOS PRÁTICOS ENVOLVIDOS NUM LEVANTAMENTO GPS	
2.1	INTRODUÇÃO.....	2
2.2	PLANEJAMENTO.....	2
2.2.1	PROGRAMAS DE APÓIO AO PLANEJAMENTO.....	3
2.2.2	ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO.....	8
2.2.3	RECONHECIMENTO.....	12
2.2.4	EQUIPAMENTO.....	14
2.2.5	LOGÍSTICA.....	14
2.3	EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO.....	14
2.3.1	TAREFAS PREVIAS À AQUISIÇÃO DE DADOS.....	14
2.3.1.1	TAREFAS NO ESCRITÓRIO.....	15
2.3.1.2	TAREFAS NA ESTAÇÃO.....	16
2.3.2	OPERAÇÕES DURANTE A AQUISIÇÃO DE DADOS.....	18
2.3.3	OPERAÇÕES POS-AQUISIÇÃO DE DADOS.....	19

CAPÍTULO III

3	ESTRATÉGIAS PARA LEVANTAMENTOS DE REDES, CONSIDERANDO 3 E 4 RECEPTORES	
3.1	INTRODUÇÃO.....	20
3.2	ESTRATÉGIAS PARA REDES COM GEOMETRIA DE POLIGONAL.	24
3.2.1	ESTRATÉGIA PARA REDE COM GEOMETRIA DE POLIGONAL CONSIDERANDO 3 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.	28
3.2.2	ESTRATÉGIA PARA REDE COM GEOMETRIA DE POLIGONAL CONSIDERANDO 3 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.	34
3.2.2.1	CASO EM QUE $m[\text{mod } 3] = 0$; $R = 3$, $N = 2$	34
3.2.2.2	CASO EM QUE $m[\text{mod } 3] = 1$; $R = 3$, $N = 2$	36
3.2.2.3	CASO EM QUE $m[\text{mod } 3] = 2$; $R = 3$, $N = 2$	39
3.2.3	ESTRATÉGIAS PARA REDE COM GEOMETRIA DE POLIGONAL CONSIDERANDO 4 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.	39
3.2.3.1	CASO EM QUE $m[\text{mod } 4] = 0$, $R = 4$, $N = 3$	42
3.2.3.2	CASO EM QUE $m[\text{mod } 4] \neq 0$, $R = 4$, $N = 3$	44
3.2.4	ESTRATÉGIAS PARA REDE COM GEOMETRIA DE POLIGONAL CONSIDERANDO 4 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.	44
3.3	ESTRATÉGIAS PARA REDES COM GEOMETRIA AREAL.....	51
3.3.1	ESTRATÉGIAS PARA REDE COM GEOMETRIA AREAL CONSIDERANDO 3 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	54
3.3.2	ESTRATÉGIA PARA REDE COM GEOMETRIA AREAL CONSIDERANDO 3 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	54
3.3.2.1	CASO $m_1[\text{mod } 3] = m_2[\text{mod } 3] = 0$, $R = 3$, $N = 2$	57
3.3.2.2	CASO $m[\text{mod } 3] \neq 0$, $R = 3$, $N = 2$	59
3.3.3	ESTRATÉGIA PARA REDE COM GEOMETRIA AREAL CONSIDERANDO 4 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	64
3.3.4	ESTRATÉGIA PARA REDE COM GEOMETRIA AREAL CONSIDERANDO 4 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	64

CAPÍTULO IV

4	LEVANTAMENTO DE UMA REDE GPS : APLICAÇÃO PRÁTICA	
4.1	INTRODUÇÃO.....	69
4.2	OBJETIVO DA REDE.....	69
4.3	ESTABELECIMENTO DA REDE.....	69
4.4	JANELAS DE OBSERVAÇÃO.....	69
4.5	ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO.....	71
4.5.1	NÚMERO DE SESSÕES POR DIA.....	71

4.5.2	TEMPO DE RASTREIO.....	71
4.5.3	ESCOLHA DE SATÉLITES.....	72
4.6	DESENHO DA REDE.....	72
4.6.1	DESENHO COM ALGORITMO DE PLIGONAL.....	72
4.6.2	DESENHO COM ALGORITMO AREAL.....	75
4.6.3	DESENHO ADOTADO.....	75
4.7	LIGAÇÃO DE REDE GPS COM MARCO DE 1era ORDEM.....	75
4.8	RESULTADOS.....	79
4.9	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	81
4.9.1	DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS.....	81
4.9.2	REPETIBILIDADE DE LINHAS DE BASE.....	83
4.9.3	FECHAMENTO DE FIGURAS COM LADOS INDEPENDENTES.....	84

CAPÍTULO V

5	LEVANTAMENTO COMBINADO: ESTÁTICO – PSEUDO·CINEMÁTICO	
5.1	INTRODUÇÃO.....	87
5.2	MÉTODOS DE LEVANTAMENTO.....	88
5.2.1	MÉTODO ESTÁTICO.....	88
5.2.2	MÉTODO CINEMÁTICO.....	89
5.2.3	MÉTODO ESTÁTICO·CINEMÁTICO.....	91
5.2.4	MÉTODO PSEUDO·CINEMÁTICO.....	91
5.3	APLICAÇÃO COMBINADA DOS MÉTODOS ESTÁTICO E PSEUDO·CINEMÁTICO.....	92
5.3.1	JANELAS DE OBSERVAÇÃO.....	92
5.3.2	TEMPO DE RASTREIO.....	93
5.3.3	PROCESSAMENTOS DE DADOS.....	93
5.3.4	RESULTADOS.....	94
5.3.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	94

CAPÍTULO VI

6	CONCLUSÕES.....	96
---	-----------------	----

	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
--	---------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

1	ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO GERADOS PARA 3 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO. GEOMETRIA DE POLIGONAL.....	30
2	ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO GERADOS PARA 3 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. GEOMETRIA DE POLIGONAL.....	36
3	ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO GERADOS PARA 4 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO. GEOMETRIA DE POLIGONAL.....	42
4	ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO GERADOS PARA 4 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. GEOMETRIA DE POLIGONAL.....	44
5	JANELAS DE OBSERVAÇÃO.....	71
6	ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO GERADOS PARA 4 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. GEOMETRIA DE POLIGONAL.....	72
7	RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DE CADA SESSÃO.....	79
8	FECHAMENTO DE TRIÂNGULOS: LADOS DA MESMA SESSÃO.....	81
9	REPETIBILIDADE DE BASES : DUAS OCUPAÇÕES.....	83
10	REPETIBILIDADE DE BASES : TRÊS OCUPAÇÕES.....	84
11	FECHAMENTO DE TRIÂNGULOS : LADOS INDEPENDENTES.....	84
12	FECHAMENTO DE QUADRILÁTEROS: LADOS INDEPENDENTES.....	86
13	RESULTADOS : MÉTODO ESTÁTICO-PSEUDO·CINEMÁTICO.....	94
14	ERROS DE FECHAMENTO : MÉTODO ESTÁTICO - PSEUDO· CINEMÁTICO.....	94
15	ERROS DE FECHAMENTO : MÉTODO ESTÁTICO.....	95

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	GRÁFICO DE DISPONIBILIDADE DE SATÉLITES.....	5
2	GRÁFICO DE VISIBILIDADE : DIAGRAMA DE BLOCOS.....	6
3	GRÁFICO DE VISIBILIDADE : MAPA POLAR.....	7
4	FORMAÇÃO DO TETRAEDRO.....	8
5	GRÁFICO DE PDOP.....	10
6	GRÁFICO DE PDOP E DISPONIBILIDADE.....	11
7	REDE METROPOLITANA DE CURITIBA	21
8	REDE DE 11 PONTOS PERTENCENTES À REDE DE TRIAN- GULAÇÃO BRASILEIRA DE 1ª ORDEM.....	22
9	REDE FORMADA POR 12 PONTOS, NA CIDADE DE RECIFE.....	23
10	NUMERAÇÃO DOS PONTOS DA REDE DA FIGURA 7.....	25
11	NUMERAÇÃO DOS PONTOS DA REDE DA FIGURA 8.....	26
12	NUMERAÇÃO DOS PONTOS DA REDE DA FIGURA 9.....	27
13	FLUXOGRAMA: REDE DE "m" PONTOS COM GEOMETRIA DE POLIGONAL. 3 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	29
14	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. m = 15 , 3 RECEPTORES, 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	31
15	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. m = 12 , 3 RECEPTORES, 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	32
16	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. m = 11 , 3 RECEPTORES, 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	33
17	FLUXOGRAMA: REDE DE "m" PONTOS COM GEOMETRIA DE POLIGONAL. 3 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. CASO : $m \text{ [mod 3]} \neq 2$	35
18	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. m = 12 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. $m \text{ [mod 3]} = 0$	37
19	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. m = 15 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. $m \text{ [mod 3]} = 0$	38
20	FLUXOGRAMA: REDE DE "m" PONTOS COM GEOMETRIA DE POLIGONAL. 3 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. CASO : $m \text{ [mod 3]} = 2$	40
21	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. m = 11 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO. $m \text{ [mod 3]} = 2$	41

22	FLUXOGRAMA: REDE DE "m" PONTOS COM GEOMETRIA DE POLIGONAL. 4 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO. CASO : $m \text{ [mod 4]} = 0$	43
23	FLUXOGRAMA: REDE DE "m" PONTOS COM GEOMETRIA DE POLIGONAL. 4 RECEPTORES E 3 OCUPAÇÕES POR PONTO. CASO : $m \text{ [mod 4]} \neq 0$	45
24	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. $m = 11$ 4 RECEPTORES, 3 OCUPAÇÕES POR PONTO. $m \text{ [mod 4]} \neq 0$	46
25	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. $m = 15$ 4 RECEPTORES, 3 OCUPAÇÕES POR PONTO. $m \text{ [mod 4]} \neq 0$	47
26	FLUXOGRAMA: REDE DE "m" PONTOS COM GEOMETRIA DE POLIGONAL. 4 RECEPTORES E 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	48
27	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. $m = 11$ 4 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	49
28	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. $m = 15$ 4 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	50
29	MATRIZ DEFINIDA PARA REDE A DE 15 PONTOS $m_1 = 3$, $m_2 = 5$	52
30	MATRIZ DEFINIDA PARA REDE A DE 12 PONTOS $m_1 = 3$, $m_2 = 4$	53
31	FLUXOGRAMA : REDE DE $m_1 * m_2$ PONTOS COM GEOMETRIA AREAL. 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	55
32	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 42 PONTOS. $R = 3$, $N = 3$	55
33	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 42 PONTOS. $R = 3$, $N = 3$	55
34	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 15 PONTOS. $R = 3$, $N = 3$	55
35	REDE GERADA COM ALGORITMO AREAL. $m_1 = 3$, $m_2 = 5$ 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	56
36	FLUXOGRAMA : REDE DE $m_1 * m_2$ PONTOS COM GEOMETRIA AREAL. 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO CASO : $m_1 \text{ [mod 3]} = m_2 \text{ [mod 3]} = 0$	58
37	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 36 PONTOS. $R = 3$, $N = 2$., $m_1 = m_2 = 6$ $m_1 \text{ [mod 3]} = m_2 \text{ [mod 3]} = 0$	57
38	FLUXOGRAMA : REDE DE $m_1 * m_2$ PONTOS COM GEOMETRIA AREAL. 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO CASO : $m_1 \text{ [mod 3]} = 0$ E $m_2 \text{ [mod 3]} \neq 0$	60

39	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 42 PONTOS. R = 3 , N = 2 , $m_1 = 6$ E $m_2 = 7$ CASO : $m_1 [\text{mod } 3] = 0$ E $m_2 [\text{mod } 3] = 1$	59
40	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 48 PONTOS. R = 3 , N = 2 , $m_1 = 6$ E $m_2 = 8$ CASO : $m_1 [\text{mod } 3] = 0$ E $m_2 [\text{mod } 3] = 2$	61
41	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 12 PONTOS. R = 3 , N = 2 , $m_1 = 3$ E $m_2 = 4$ CASO : $m_1 [\text{mod } 3] = 0$ E $m_2 [\text{mod } 3] = 1$	61
42	REDE GERADA COM ALGORITMO AREAL. $m_1 = 3$, $m_2 = 4$ 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO CASO : $m_1 [\text{mod } 3] = 0$ E $m_2 [\text{mod } 3] = 1$	62
43	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 15 PONTOS. R = 3 , N = 2 , $m_1 = 3$ E $m_2 = 5$ CASO : $m_1 [\text{mod } 3] = 0$ E $m_2 [\text{mod } 3] = 2$	63
44	REDE GERADA COM ALGORITMO AREAL. $m_1 = 3$, $m_2 = 5$ 3 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO CASO : $m_1 [\text{mod } 3] = 0$ E $m_2 [\text{mod } 3] = 2$	63
45	FLUXOGRAMA : REDE DE $m_1 * m_2$ PONTOS COM GEOMETRIA AREAL. 4 RECEPTORES, 3 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	65
46	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 64 PONTOS. R = 4 , N = 3 , $m_1 = m_2 = 8$	66
47	FLUXOGRAMA : REDE DE $m_1 * m_2$ PONTOS COM GEOMETRIA AREAL. 4 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	67
48	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA REDE DE 36 PONTOS. R = 4 , N = 2 , $m_1 = m_2 = 6$	66
49	REDE GERADA COM ALGORITMO AREAL. $m_1 = 3$, $m_2 = 5$ 4 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	68
50	ESQUEMA APROXIMADO DOS PONTOS DA REDE.....	70
51	NUMERAÇÃO DOS PONTOS DA REDE. ALGORITMO POLIGONAL.....	73
52	REDE GERADA COM ALGORITMO DE POLIGONAL. $m = 20$ 4 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	74
53	MATRIZ DEFINIDA PARA A REDE $m = 20$, $m_1 = 4$, $m_2 = 5$	76
54	REDE GERADA COM ALGORITMO AREAL. $m_1 = 4$, $m_2 = 5$ 4 RECEPTORES, 2 OCUPAÇÕES POR PONTO.....	77
55	DESENHO ADOTADO PARA A REDE.....	78

RESUMO

Ante o iminente aumento da utilização de receptores GPS surgiu a necessidade de se abordar diversos aspectos presentes num levantamento de redes com GPS. Desta maneira, apresentou-se com detalhes as etapas que fazem parte deste tipo de levantamento. Estratégias para a utilização de 3 e 4 receptores foram apresentadas e aplicadas, a título de exemplo, em várias redes. Foram construídos fluxogramas dos algoritmos referentes às estratégias permitindo que sejam facilmente programados. Foi apresentado um levantamento de rede com 4 receptores, juntamente com a análise de seus resultados. Finalmente foi feita uma experiência para testar a factibilidade de se combinar os métodos estático e pseudo-cinemático, visando obter 6 linhas independentes no levantamento de um quadrilátero com suas diagonais, com um mínimo de tempo gasto em coleta de dados no campo. Concluiu-se então, que é perfeitamente viável tal combinação, sendo gasto no campo menos de 50% do tempo, se comparado com a utilização do método estático.

ABSTRACT

As the use of GPS receivers rapidly increasing, it becomes necessary to discuss the various aspects in a GPS Network survey. Therefore, all the steps of this type of survey were detailed. Some strategies in using 3 and 4 receivers were presented and applied to several networks by way of example. The algorithm diagrams of these strategies were built up in order to ease the computer programming. A network survey using 4 receivers was shown together with the analysis of the results. At last, an experiment was made, testing the possibility of joining both static and pseudo-kinematic methods, in order to obtain 6 independent lines in a survey of a 4 side polygon and its diagonals, saving as much time as possible in the field data collection. Finally the combination of these methods proved to be feasible, because the time spent in the field collection was less than half when compared to the static method.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A comunidade geodésica mundial percebeu o grande passo que se estava dando com o surgimento do sistema de navegação TRANSIT. Nos presentes dias, mais uma vez o mundo assiste ao desenvolvimento de um novo sistema de posicionamento por satélites que está revolucionando tanto a navegação quanto a geodésia e futuramente promete ser parte da vida cotidiana de grande parte da comunidade civil. Este sistema denominado NAVSTAR-Global Positioning System, mais conhecido como GPS, foi idealizado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos de América e encontra-se operacional embora ainda não esteja em órbita o número total de satélites que constituem o sistema na sua concepção final. O sistema na sua configuração final contará com uma constelação de 24 satélites, distribuídos em seis planos orbitais, o que permitirá que em qualquer lugar do planeta estejam acima do horizonte um mínimo de quatro satélites durante as 24 horas do dia. Com isto, é possível a determinação da posição no espaço de um observador qualquer.

Este trabalho visa orientar sobre os aspectos que estão envolvidos no levantamento de redes com a utilização do GPS. Assim, no segundo capítulo apresentam-se fatores que estão presentes num levantamento com GPS e que na prática devem ser considerados para atingir o objetivo do mesmo.

O capítulo terceiro, trata de algumas estratégias para o levantamento de redes considerando o uso de 3 e 4 receptores. Já no quarto capítulo, é analisado o levantamento de uma rede realizada com 4 receptores GPS.

No quinto capítulo apresenta-se uma aplicação prática da combinação dos métodos estático e pseudo-cinemático, a qual permite a obtenção de bases independentes no levantamento de um quadrilátero com suas diagonais, reduzindo o tempo de coleta de dados no campo em ao menos 50 %. Finalmente, no capítulo sexto são apresentadas conclusões sobre o trabalho realizado.

C A P Í T U L O I I

2 ASPECTOS PRÁTICOS ENVOLVIDOS NUM LEVANTAMENTO GPS

2.1 INTRODUÇÃO

A experiência adquirida pelos usuários do sistema TRANSIT sem dúvida alguma é útil para quem começa a utilizar o sistema GPS para efetuar levantamentos geodésicos. Os aspectos práticos num levantamento GPS são de grande importância, assim, para realizar com êxito um levantamento, deve-se efetuar um planejamento cuidadoso e os procedimentos tanto de campo quanto de escritório, devem ser eficientes .

Neste capítulo apresentam-se os fatores envolvidos na realização prática de um levantamento utilizando receptores GPS. Assim, são discutidos os aspectos relativos ao planejamento do levantamento, como também, as diferentes operações a serem efetuadas durante a execução do levantamento.

2.2 PLANEJAMENTO

Qualquer tipo de levantamento deve ser precedido por um planejamento, visando uma otimização de recursos e eficiência no trabalho. Levantamentos com receptores GPS não são uma exceção. Considerando o custo relativamente alto deste tipo de aparelhos, deve realizar-se um planejamento cuidadoso, tentando minimizar a possibilidade de ter que efetuar um replanejamento durante a execução do levantamento ou ter que voltar ao campo para refazê-lo. Assim, com um bom planejamento, o levantamento pode ser realizado em forma eficiente e com um mínimo de imprevistos.

Alguns aspectos práticos a serem considerados no planejamento de um levantamento são [7], [3] :

- . Desenho da rede. (ligações entre pontos).
- . Reconhecimento. (escolha de pontos, obstruções, acesso ,etc.).
- . Equipamento. (quantidade e tipo de receptores, gravadores, etc.).
- . Esquemas de observação. (disponibilidade de satélites, número de sessões por dia, etc.).
- . Logística . (transporte, pessoal, fornecimento de energia, etc.).
- . Calibração . (termômetros, barômetros, bolhas de nível, prumos óticos, etc.).

2.2.1 Programas de apoio ao Planejamento

Para planejar os esquemas de observação a serem aplicados na execução do levantamento, é necessário saber quais satélites serão visíveis (acima do horizonte) para os locais de rastreamento nas datas previstas para a realização do levantamento. Estas e outras informações são obtidas através da execução de programas de planejamento. Estes programas e os de processamento visando o posicionamento, são fornecidos pelos fabricantes junto com os receptores GPS. Assim por exemplo, pode-se obter uma listagem chamada "ALERT" contendo a elevação e azimute em função do tempo, dos satélites visíveis para um determinado local, dando desta maneira um auxílio na etapa de reconhecimento, permitindo determinar e evitar se for possível, a existência de obstáculos na trajetória dos sinais enviados pelos satélites.

Cada satélite através da mensagem de dados enviada no sinal, fornece o chamado ALMANAQUE. Este é um arquivo que contém dados orbitais de todos os satélites. Os programas de planejamento usam este almanaque como dado de entrada para efetuar as previsões de posição dos satélites, sendo válidas estas previsões por vários dias (60 ou mais) [8]. É aconselhável entretanto, manter o almanaque atualizado, já que eventualmente a órbita de algum satélite pode sofrer alguma mudança. Por outra parte, devemos atualizar o almanaque cada vez que um novo satélite entre em operação.

Os dados contidos no ALMANAQUE são os seguintes :

ID	Identificação do satélite.
e	Excentricidade da órbita.
t_{0a}	Tempo de referência dos dados do almanaque.
δ_i	Diferença a 60° do ângulo de inclinação do plano orbital.
HEALTH	Saúde do satélite
$\dot{\Omega}$	Velocidade de mudança do nodo ascendente.
\sqrt{A}	Raiz quadrada do semi-eixo maior.
Ω_0	Longitude do nodo ascendente.
ω	Argumento do perigeu.
M_0	Anomalia média.
a_0, a_1	Coeficientes para correção do relógio do satélites .

Os programas de planejamento podem também incluir alguns que permitam obter certos gráficos que são de grande utilidade, em caso contrário é recomendável que os gráficos sejam feitos pelo próprio usuário. Alguns destes gráficos são os seguintes :

. Gráfico de disponibilidade

Este gráfico mostra a quantidade de satélites visíveis para um determinado local durante um certo intervalo de tempo, permitindo determinar as janelas de observação. Obviamente este tipo de gráfico manterá a sua importância até que a constelação de satélites GPS esteja completa. Um exemplo deste tipo de gráfico apresenta-se na figura 1 [5]

. Gráfico de visibilidade

a) Diagrama de blocos

Permite ter uma ideia de quais são os satélites que serão visíveis num certo local para um determinado intervalo de tempo e, também podemos saber a quantidade de satélites visíveis nesse mesmo intervalo. A figura 2 mostra este tipo de gráfico [5]

b) Gráfico polar

Este gráfico é uma representação da posição dos satélites em coordenadas polares (elevação e azimuth), projetados no horizonte do observador. Além de mostrar os satélites que serão visíveis para um local em particular, permite ter uma ideia da geometria dos satélites com relação ao local. Veja figura 3 [5].

. Gráficos da diluição de precisão

Estes gráficos mostram a diluição (perda) da precisão na determinação das coordenadas e do tempo, devido à geometria dos satélites com relação à estação (para mais detalhes ver referências [12], [3]. Assim temos que :

a) Gráfico de GDOP

Relativo à posição tridimensional e ao tempo .

b) Gráfico de PDOP

Relativo à posição tridimensional.

c) Gráfico de HDOP

Relativo à posição bidimensional.

d) Gráfico de VDOP

Relativo à posição vertical.

2.2.2 Esquemas de observação

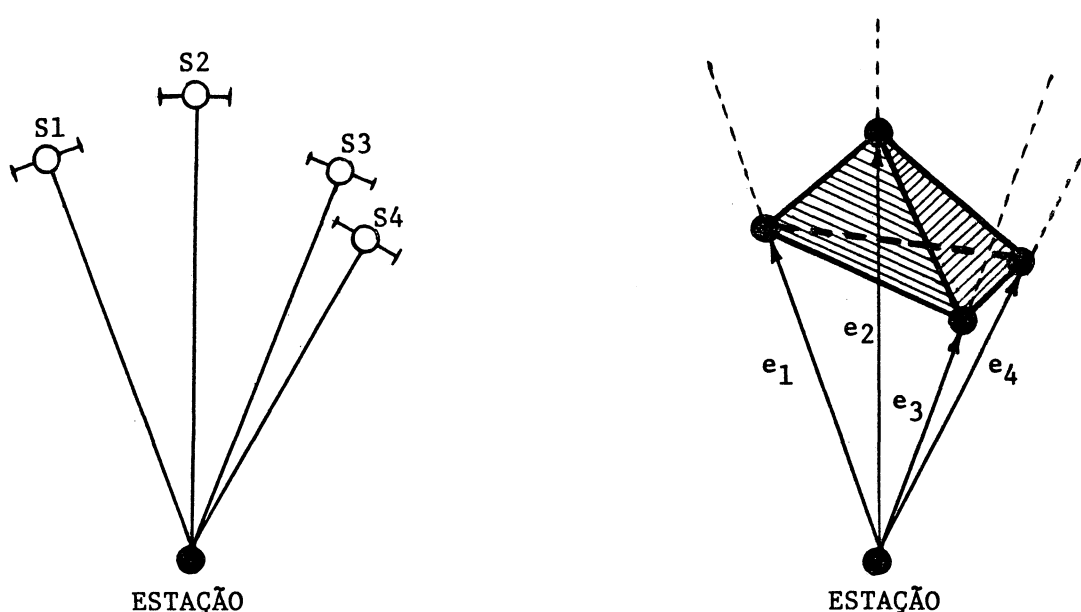
O esquema de observação para cada sessão num projeto de levantamento consiste em especificar a seguinte informação :

- . data.
- . número da sessão de observação.
- . instante de começo e fim da sessão (em TUC e Local)
- . constelações de satélites e os instantes em que serão observados.
- . nomes de todas as estações participantes durante cada sessão.

No caso de receptores que possam rastrear somente 4 satélites é interessante bloquear aqueles que não sejam convenientes de serem rastreados; assim pode-se selecionar os satélites mais apropriados para uma determinada sessão de rastreamento. No caso de receptores que oferecem a possibilidade de rastrear um grande número (>6) de satélites, não é necessário se preocupar em fazer este tipo de seleção.

Um certo critério para selecionar as constelações de satélites a serem utilizadas nas sessões de observação, está relacionado com a configuração geométrica dos satélites em relação à estação. Ao considerar 4 satélites podemos definir 4 vetores, cada um com origem na estação de rastreamento e dirigido a cada satélite. Se unirmos entre si os versores destes vetores, forma-se uma figura chamada tetraedro (fig. 4).

FIGURA 4 Formação do Tetraedro



Tem-se determinado que a melhor configuração geométrica é aquela quando este tetraedro apresenta um volume máximo. Por outra parte, o volume (V) do tetraedro está relacionado com o PDOP (fator de diluição da precisão para o posicionamento tridimensional), [11] :

$$PDOP \sim \frac{1}{V}$$

Assim, tem-se a melhor configuração de satélites quando " V " é máximo ou PDOP mínimo. Considerando que pode haver mais de 4 satélites visíveis e que a geometria varia com o tempo, seria necessário efetuar um grande número de cálculos para achar em cada instante a melhor geometria. É por isso, que na prática são utilizados algoritmos sub-ótimos, por exemplo, são selecionados 3 satélites com componente máxima do vetor de posição local nas direções Norte, Leste e Vertical. O quarto satélite selecionado sera aquele que produz o mínimo PDOP. Também recomenda-se considerar satélites com elevações acima de 10°, [9].

Uma tabela ou gráfico com valores do PDOP em função do tempo, por exemplo a cada 10-15 minutos, são de grande utilidade para estabelecer os esquemas de observação. A figura 5 mostra este tipo de gráfico [5].

Outro parâmetro que tem que ser considerado para a escolha dos satélites que serão selecionados é o tempo em que permanecerão

estes 4 satélites (em forma simultânea) com um ângulo de elevação acima do valor estipulado como mínimo (10 - 15 graus). Isto é importante para poder resolver a "ambiguidade", uma das incógnitas na etapa de processamento dos dados. Recomenda-se a observação de um conjunto de 4 satélites por um intervalo de tempo não inferior a uma hora [5].

O número total de dias de observação vai depender do número de estações, do número de receptores disponíveis e do número de sessões realizadas por dia. Poderão ser efetuadas mais de uma sessão de observação por dia, dependendo do tempo necessário para se transladar de uma estação para outra, o tempo de observação em cada estação e a disponibilidade de satélites.

2.2.3 Reconhecimento

A realização de um reconhecimento nas estações que formam parte do projeto de levantamento é fundamental para evitar problemas na sua execução, que podem acarretar mudanças nos esquemas de observação ou até perda de dias de observações. De maneira que o êxito de um levantamento depende em grande parte de um bom reconhecimento.

As estações que formam parte de um projeto de levantamento, podem ser estações já existentes ou estações novas que terão que ser monumentadas. No caso de estações já existentes, tem que ser localizadas fisicamente no campo e verificar se seu estado atual permite que seja utilizada no levantamento.

Estações selecionadas para o projeto, devem preencher certas características apresentadas a seguir :

- acessibilidade

Os pontos selecionados devem ter de preferência fácil acesso permitindo chegar até eles através de carro.

- ausência de obstruções

O ideal é que o ponto esteja localizado num lugar com visada livre de obstruções acima do horizonte em todas as direções. Na prática, é recomendável que se existirem obstruções, a visada esteja livre a partir de 15-20 graus acima do horizonte. Em caso contrário, o sinal transmitido pelo satélite será bloqueado pelos objetos que estão obstruindo a sua trajetória, provocando o atraso na aquisição do sinal ou simplesmente a perda do sinal. Para determinar quando certas obstruções podem ser toleradas, pode ser utilizado um gráfico polar (fig.3) que permite visualizar a trajetória que terão os satélites durante a sessão de observação, indicando o azimute e elevação com relação à estação. Assim, dependendo da trajetória dos satélites podem ser escolhidas as estações em lugares onde certas obstruções existentes não bloqueem o sinal. Em locais densamente florestados, a antena pode-se montar sobre alguma torre ou haste para elevar a sua altura e atingir a visibilidade necessária.

- instalação da antena

O lugar onde se encontre a estação, deveria permitir a instalação direta de um tripé comum para instrumento topográfico sobre o qual seria instalada a antena.

Em caso contrário, teria-se que dispor de acessório apropriado para instalar a antena sobre o ponto. Por exemplo, no caso da estação estar monumentada em forma de pilar fazendo impossível a instalação de um tripé, deveria-se ter algum dispositivo como uma base de centragem forçada.

- distância antena-receptor

A distância máxima entre a antena e o receptor fica limitada pelo comprimento do cabo que faz a conexão entre eles. No mercado existem cabos com comprimento de 10-15, 30, 60 metros. As características físicas destes cabos variam consideravelmente em função de seu comprimento; assim por exemplo, um cabo de 10 m pesa aproximadamente 0.45 kilos, enquanto um cabo de 30 m possui um peso de aproximadamente 4.5 kilos.

Por outra parte, não é recomendável que o receptor fique muito perto da antena, já que o operador ao se movimentar poderia obstruir a passagem do sinal. Assim, na prática o ideal seria poder instalar o receptor afastado da antena a uma distância de 10-15 metros, evitando uma possível perda do sinal e por outra parte, é mais cómodo trabalhar com cabos deste comprimento por sua leveza e flexibilidade.

- evitar multicaminhos do sinal

Para evitar que as observações sejam afetadas por multi-caminhos do sinal, as estações terão que estar situadas afastadas de construções, estruturas metálicas e de fios de alta tensão.

A seleção final tanto das estações quanto dos esquemas de observação, tem que ser feita só depois de analisar o relatório do reconhecimento. Este relatório deverá conter um desenho das estações do projeto e o estado das estações já existentes, observando-se se as estações existentes estão em condições de ser ocupadas com o equipamento GPS, [7]. Também deve indicar as obstruções existentes. Por outro lado, é aconselhável tirar fotografias da estação em direção dos 4 pontos cardinais, que podem ser de utilidade para futuros levantamentos. Durante a etapa de reconhecimento, é observado o tempo de viagem e detalhada a rota para chegar ao local de cada estação.

2.2.4 Equipamento

Evidentemente o número de receptores disponíveis vai influir na produtividade da execução do levantamento e portanto, no tempo total necessário para efetuar o projeto. Segundo a precisão desejada, poder-se-ia adotar a utilização de receptores com uma ou duas frequências (L1, L2).

Outro fator que deve ser considerado é o tipo de sistema de armazenamento de dados utilizado pelo receptor. Assim, temos receptores que possuem memória interna onde são gravados os sinais; já outros que não contam com este tipo de recurso gravão os dados diretamente em fitas cassete.

O fato de utilizar receptores que não trabalhem com o código (C/A), significa que as efemérides deverão ser obtidas através de fontes externas, já que não terão acesso aos dados orbitais contidos no sinal transmitido pelo satélite. Além disso, este tipo de receptor terá que ser sincronizado frequentemente durante o projeto, [12].

2.2.5 Logística

Um dos aspectos logísticos mais importantes na realização de uma campanha GPS é contar com viaturas suficientes para mobilizar a cada grupo de trabalho. O ideal é que cada equipe de um receptor conte com mobilização própria .

Dependendo de fatores como número de receptores que terão que ser mobilizados, condições de acesso aos locais onde estejam as estações, o fator logística torna-se de vital importância.

2.3 EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO

Num levantamento com receptores GPS, devem ser efetuadas certas tarefas relativas ao trabalho de campo. Assim, as tarefas que constituem a execução do levantamento podem ser agrupadas em três fases :

- 1.- Prévia à aquisição de dados
- 2.- Durante a aquisição de dados
- 3.- Posterior à aquisição de dados

2.3.1 Tarefas previas à aquisição de dados

Antes de entrar na fase de aquisição de dados, devem ser feitas algumas tarefas tanto no escritório central (instalado próximo às estações a serem levantadas quanto na estação.

2.3.1.1 Tarefas no escritório

Deve-se realizar operações relativas aos seguintes fatores :

- Energia
Verificação do estado da fonte de energia (geradores, baterias, etc.).
- Combustível
Abastecer os carros e geradores.
- Esquemas de observação
Devem estar preparados os esquemas de observação da ou das sessões de observação que serão realizadas, isto é, deve-se definir quais são os satélites que serão rastreados e em que instantes; as possíveis mudanças de satélites a serem observados (para obter uma melhor geometria); instante de início e fim das sessões. Preparação de esquemas de observação alternativos em caso de algum satélite estar com problemas, o que pode ser de grande utilidade, evitando a perda de uma sessão de trabalho. Todas as estações tem o mesmo esquema de observação, já que todos os receptores devem rastrear simultaneamente os mesmos satélites.
- Sincronização dos relógios
Um dos fatores que influem na precisão de um levantamento é a sincronização entre os relógios dos receptores que são usados no levantamento. Quando são utilizados receptores que não trabalham com o código (P ou C/A), eles não tem acesso aos sinais de tempo enviados pelo satélite, portanto os relógios devem sincronizar-se entre eles e também ao Tempo Universal Coordenado (TUC). Receptores deste tipo são MACROMETER V1000, MACROMETER II LAND SURVEYOR MODEL 1991. A sincronização dos relógios dos receptores com relação ao TUC é usualmente feita usando um outro receptor independente que trabalhe com código, para poder obter a informação de tempo desde os satélites GPS, ou pode ser utilizado um relógio de alta precisão, por exemplo um relógio atômico, [12]. Receptores MACROMETER tem utilizado um receptor de tempo do satélite GOES (Geoestacionary Operational Environmental Satellite), [12]. Por exemplo, se para um levantamento utiliza-se três receptores (A,B,C), eles tem que ser instalados no mesmo local. Primeiro, o

relógio do receptor " A " deve-se sincronizar com o TUC com precisão de alguns milissegundos. Posteriormente os relógios dos receptores " B " e " C " são sincronizados individualmente com o do receptor "A". Em seguida utilizando um contador de intervalo de tempo, os relógios dos três receptores são comparados para verificar que foram sincronizados, [8]. Este procedimento tem que ser feito ao começar cada dia de trabalho, antes de levar cada receptor até a estação que será levantada.

• Preparar arquivo para identificação dos satélites

Os receptores MACROMETER V-1000 e MACROMETER II, não podem decodificar as efemérides contidas no sinal, portanto não podem identificar os satélites através das efemérides. Estes receptores identificam os satélites por meio do efeito DOPPLER. Tendo como informação as coordenadas aproximadas da estação (com precisão de 10 km.) e as efemérides aproximadas de cada satélite, é possível calcular o efeito DOPPLER do sinal de cada satélite para uma certa estação, em um determinado instante. Assim, é criado um arquivo (" File-A ") para cada estação contendo a frequência do sinal de 6 satélites para 60 épocas (igual intervalo entre épocas). Este arquivo deve ser gravado em cada receptor antes de ocupar a estação [8].

2.3.1.2 Tarefas na estação

Quando a equipe e os instrumentos tiverem chegado ao lugar da estação, deve-se efetuar as seguintes operações :

- 1.- Montagem do equipamento
 - Montar a antena no tripé
 - Medir altura da antena
 - Fazer as conexões correspondentes entre as unidades do aparelho
 - Ligar a fonte de energia ao receptor
 - Ligar o aparelho
- 2.- Inicialização dos receptores
- 3.- Seleção dos satélites que serão rastreados

Especificamente, para o caso do receptor TI 4100, as operações são as seguintes [9] :

- 1.- Montagem do equipamento
 - Montar a antena no tripé, sobre o ponto
 - Medir a altura da antena

- Conectar o " External Time Standard " (se tiver), na fonte de poder
- Conectar o gravador e a " Control Display Unit " (CDU) ao receptor
- Introduzir fita no gravador. Fita devidamente identificada com o nome da estação, dia, sessão, número de projeto.
- Conectar o receptor na fonte de poder
- Ligar o receptor

2.- Pre-Inicialização

- Colocar swith em " OPERATE ". Automaticamente efetua-se um teste do sistema.
- Grava-se na memória do receptor o SOFTWARE operacional desde uma fita cassete.

3.- Inicialização

Através do " CDU " são entrados valores iniciais para :

- Tempo
- Data
- Coordenadas (Latitude, Longitude e Altura)
- Incertezas das coordenadas
- Velocidade . É ingressado o dígito correspondente ao tipo de usuário, segundo os seguintes códigos :
 - 0 = Estacionário
 - 1 = Baixa velocidade
 - 2 = Média velocidade
 - 3 = Alta velocidade

Com isto, é finalizada a etapa de inicialização do receptor. Para prosseguir tem que se esperar ao menos 20 minutos já que o quartz interno tem que ficar suficientemente estável. Um relógio externo de rubidium precisa de pelo menos 30 minutos. Depois deste tempo, são conectados ao receptor o relógio externo e a antena (swith em modo STANDBY).

4.- Entrada dos dados do almanaque

O TI 4100 pode " procurar " os satélites sem necessidade de entrar com dados do almanaque, mas demora muito tempo. Assim, pelo menos os dados do almanaque de um satélite é entrado via CDU, os dados dos outros satélites são lidos automaticamente. Para que o processo de busca dos satélites seja mais rápido ainda, são entrados os dados do almanaque correspondente a todos os satélites que serão rastreados. Em seguida o receptor começa a rastrear estes satélites.

2.3.2 Operações durante a aquisição de dados

Durante a etapa de aquisição de dados, a pessoa encarregada do equipamento, deve efetuar certas operações que são apresentadas a seguir :

- a) Verificar o correto funcionamento do aparelho de gravação.
- b) Acompanhar o rastreio, vigiando os indicadores do equipamento (qualidade do sinal, perda do sinal de algum satélite, elevação dos satélites, fator de diluição da precisão, etc.).
- c) Manter a disponibilidade de memória para armazenagem dos dados (por ex., o equipamento TI 4100 utiliza fitas cassete com capacidade de armazenagem para 30 minutos de rastreio).
- d) Mudar a constelação de satélites observados, segundo o esquema de observação pré-estabelecido.
- e) Tomar dados meteorológicos (temperatura, pressão, umidade relativa), a intervalos pré-estabelecidos (por ex., a cada 30 minutos ou no começo, meio e fim de cada sessão de observação).
- f) Preencher o formulário de campo com a seguinte informação :
 - Data (dia, mês, ano, dia do ano).
 - Nome da estação.
 - Número da estação.
 - Número de série do receptor, gravador e antena.
 - Número de sessão.
 - Altura da antena
 - Hora (TUC), de começo e fim do intervalo de observação de uma constelação específica de satélites (tempos pré-estabelecidos pelo esquema de observação e tempos obtidos na realização prática do esquema).
 - Constelações de satélites observados.
 - Dados meteorológicos e as épocas de observação correspondentes.
 - Nome do operador.
 - Observações relativas ao rastreio :
 Perda do sinal de um satélite (verificar se é por algum obstáculo, se não pode indicar algum tipo de problema no equipamento ou no satélite). Valor alto do fator de diluição da precisão. Satélite com ângulo de elevação muito baixo, etc.

- Observações relativas a problemas com o equipamento.
- Observações relativas ao operador. Qualquer tipo de erro cometido deve ser registrado.

2.3.3 Operações Pós-Aquisição de dados

Depois de terminada a aquisição de dados segundo o esquema de observação, tem que efetuar-se o seguinte :

- No caso específico do receptor MACROMETER, depois de cada sessão, os dados são gravados da memória interna para uma fita [8].
- Medir novamente a altura da antena.
- Verificar a centragem da antena sobre a estação.
- O equipamento é levado para a próxima estação ou de volta para o acampamento.
- No caso de uso de receptores sem código, estes tem que ser reunidos no acampamento para efetuar uma checagem dos seus relógios.
- De volta ao acampamento pode ser efetuada a transferência dos dados coletados no campo, para disquetes, fitas, etc.
- Se possível, checar os dados coletados no campo. Pode ser que alguma sessão de observação tenha que ser re-observada.

CAPÍTULO III

3 ESTRATÉGIAS PARA LEVANTAMENTOS DE REDES CONSIDERANDO 3 E 4 RECEPTORES

3.1 INTRODUÇÃO

Como foi mencionado no capítulo anterior, um dos fatores que tem de ser considerado na etapa de Planejamento é o desenho da rede. Este por sua vez, depende do tipo e número de receptores disponíveis, das especificações do levantamento, do número de ocupações por ponto, da logística. SNAY [10] desenvolveu certas estratégias para realizar o desenho de redes tendo 3 e 4 receptores disponíveis e efetuando 2 e 3 ocupações por ponto. Foram considerados dois tipos de geometria para as redes, isto é, geometria de Poligonal e Areal. Os desenhos das redes geradas por estas estratégias tem caráter preliminar, já que ao conceber as estratégias não foram considerados todos os fatores que afetam de alguma forma o desenho final de uma rede; por exemplo, não foi considerado o tipo de receptor, as especificações do levantamento, logística. O desenho assim obtido, serve como base para uma posterior otimização considerando outros fatores. Estas estratégias tentam que cada ponto da rede seja ocupado um mesmo número de sessões que qualquer outro ponto da rede e por outro lado, obtém-se a observação direta do máximo número de linhas de base distintas, isto é, não favorece a reobservação de linhas de base.

A seguir são apresentadas as estratégias para os dois tipos de geometria de redes, tendo como variáveis o número de receptores e de ocupações por ponto. Como exemplo de aplicação, através destas estratégias são determinados os esquemas de observação para as seguintes redes :

- a) Rede Metropolitana de Curitiba, formada por 15 pontos (fig. 7), [6].
- b) Rede formada por 11 pontos pertencentes à Rede de Triangulação Brasileira, (fig. 8), [6].
- c) Rede formada por 12 pontos, na cidade de Recife , (fig. 9).

Estas três redes formaram parte dos primeiros projetos no Brasil com receptores GPS (TI 4100), realizados através dos convênios entre as Universidades Federal do Paraná (UFPR) e Federal de Pernambuco (UFPE) com a Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ).

FIGURA 7 Rede Metropolitana de Curitiba com 15 pontos

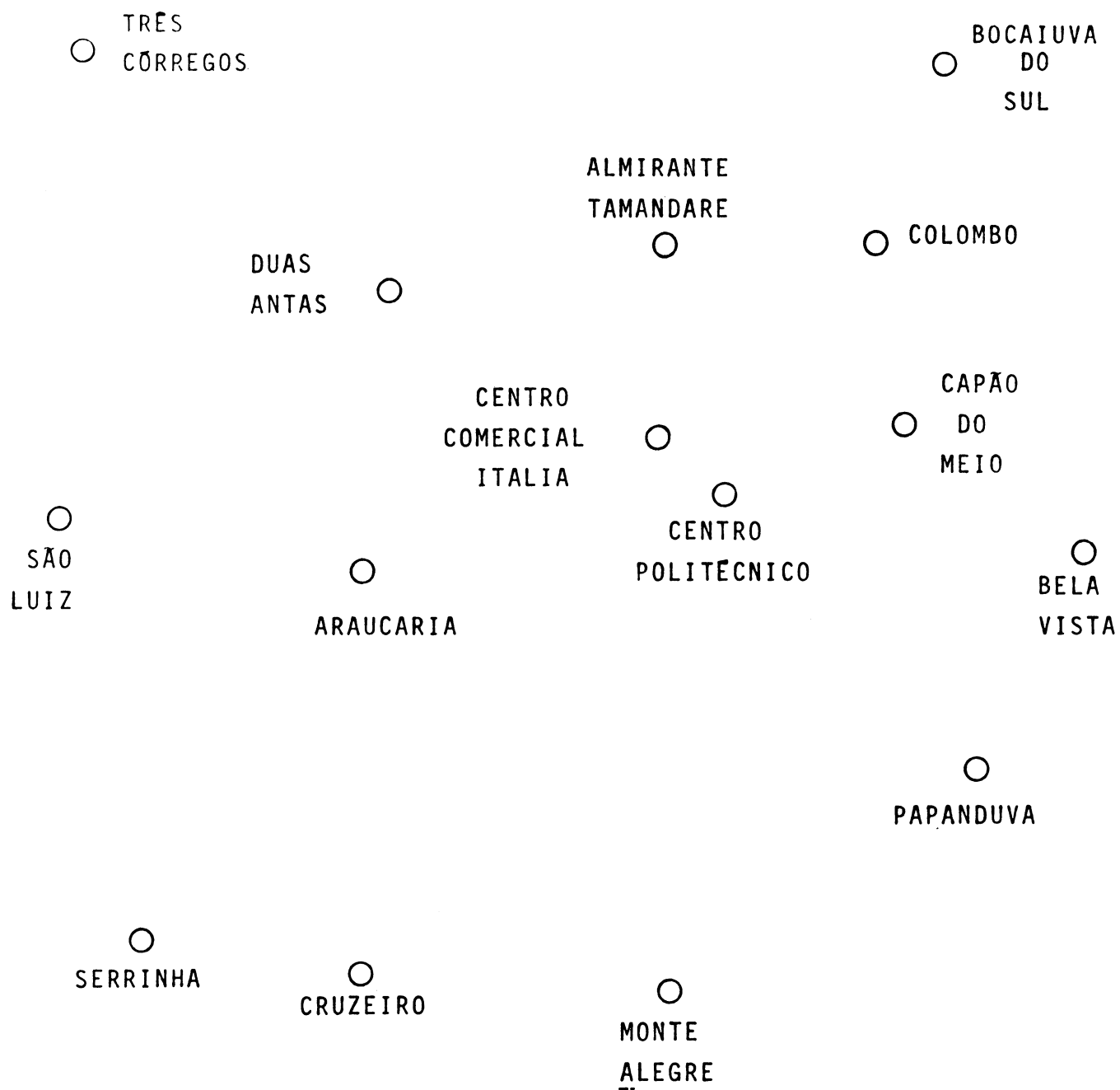


FIGURA 8 Rede de 11 pontos pertencentes à Rede de Triangulação Brasileira.

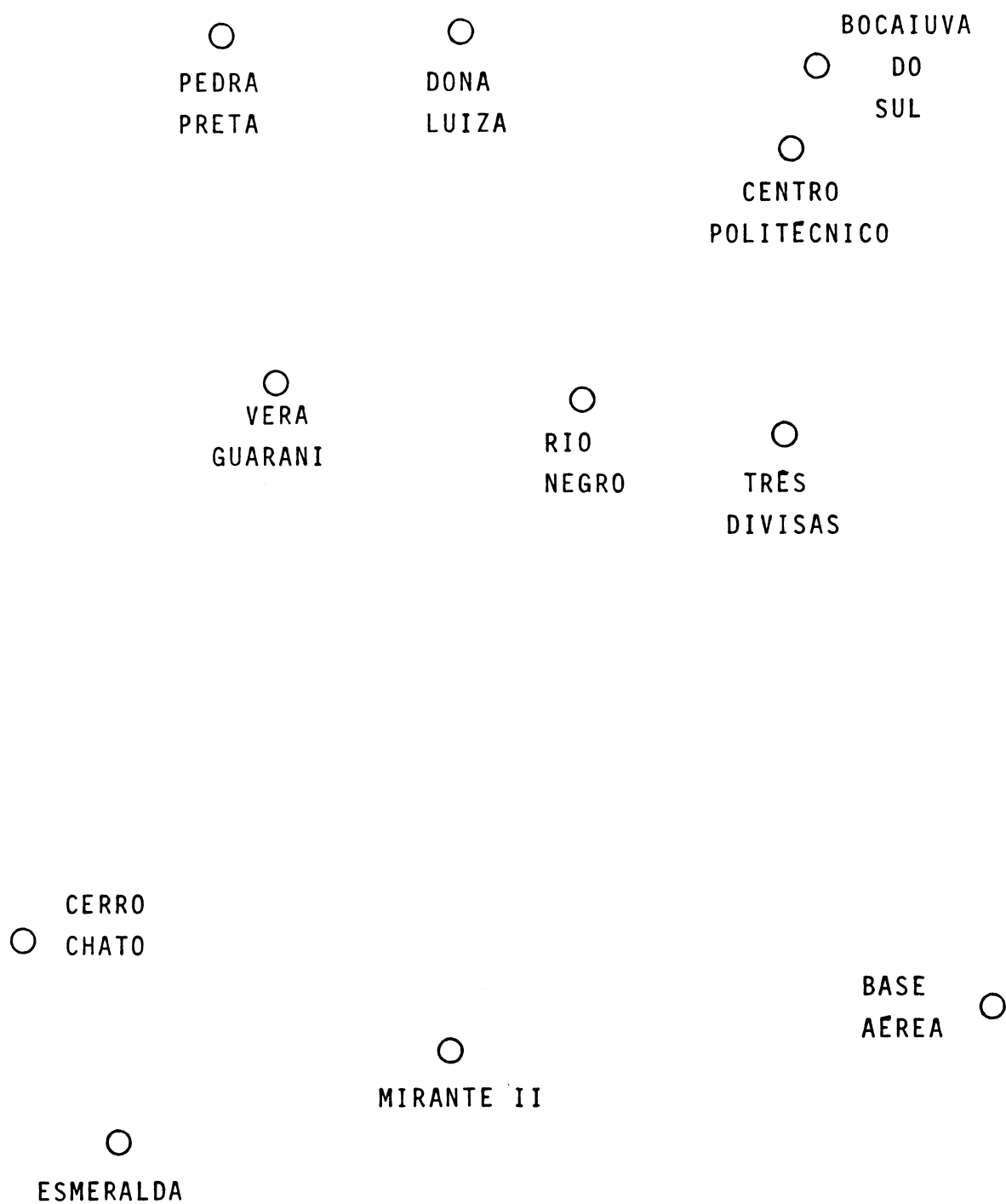
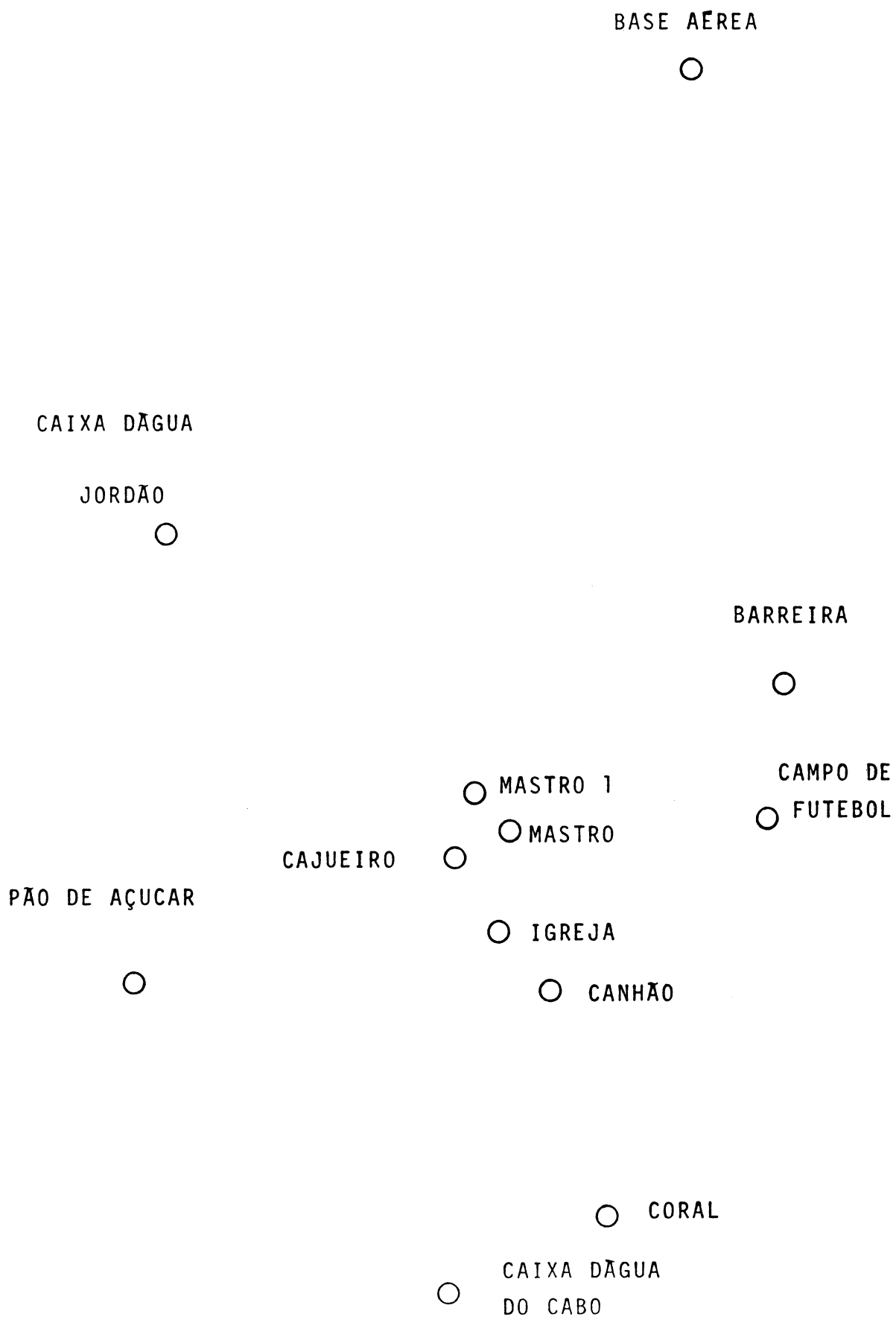


FIGURA 9 Rede formada por 12 pontos, na cidade de Recife.



3.2 ESTRATÉGIAS PARA REDES COM GEOMETRIA DE POLIGONAL

À continuação serão apresentadas estratégias para o levantamento de redes cujos pontos estejam distribuídos aproximadamente em forma de Poligonal fechada.

As estratégias para os levantamentos com diferente número tanto de receptores quanto de ocupações por ponto, são apresentados através de diagrama de blocos, indicando os pontos da rede onde devem ser instalados os receptores em cada sessão.

Para poder referenciar estes pontos, efetua-se a numeração deles. Para isto, une-se cada ponto da rede com o ponto adjacente que estiver mais próximo, formando assim, uma poligonal fechada onde cada ponto da rede é um vértice da poligonal; em seguida, escolhe-se um ponto qualquer como origem da numeração (ponto nº 1) e continua-se numerando sequencialmente os pontos seguindo o desenho da poligonal, até chegar ao último ponto (ponto nº m). Desta maneira, os pontos da rede ficam identificados por um número e, por outro lado, nas estratégias que serão apresentadas, o fato de numerar em forma sequencial um ponto com outro adjacente mais próximo, reduz o tempo de viagem de uma estação para outra entre sessões de observação consecutivas.

As figuras 10, 11 e 12, mostram a numeração dos pontos que sera utilizada para gerar os esquemas de observação através dos algoritmos de Poligonal aplicados às redes das figuras 7, 8 e 9 respectivamente.

Como foi mencionado anteriormente, as estratégias serão apresentadas através de diagramas de blocos. Para uma maior compactação dos diagramas, tem-se utilizado a seguinte notação

SESSÃO " i "	
R	k
E	(k + 1)*
C	(k + 2)*

Leia-se :

'' Na sessão "i", por os receptores
(3 neste caso) nos pontos
k, (k + 1)*, (k + 2)* ''.

onde

k : Dado pela expressão matemática apresentada no diagrama de blocos.

(k + j)* : Considerar (k + j) [mod m] se (k + j) > m

FIGURA 10 Numeração dos pontos da rede da Figura 7

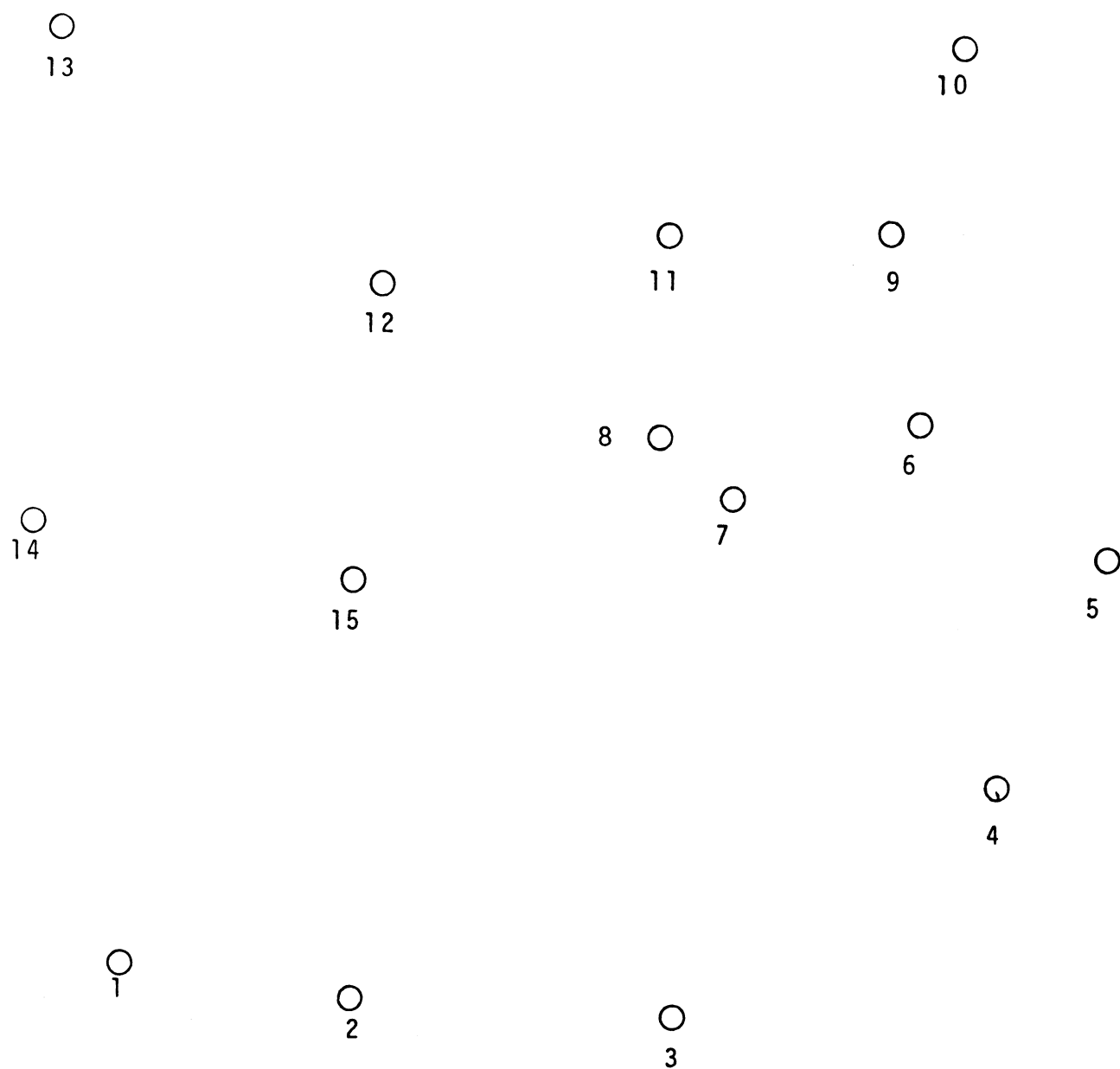


FIGURA 11 Numeração dos pontos da rede da Figura 8

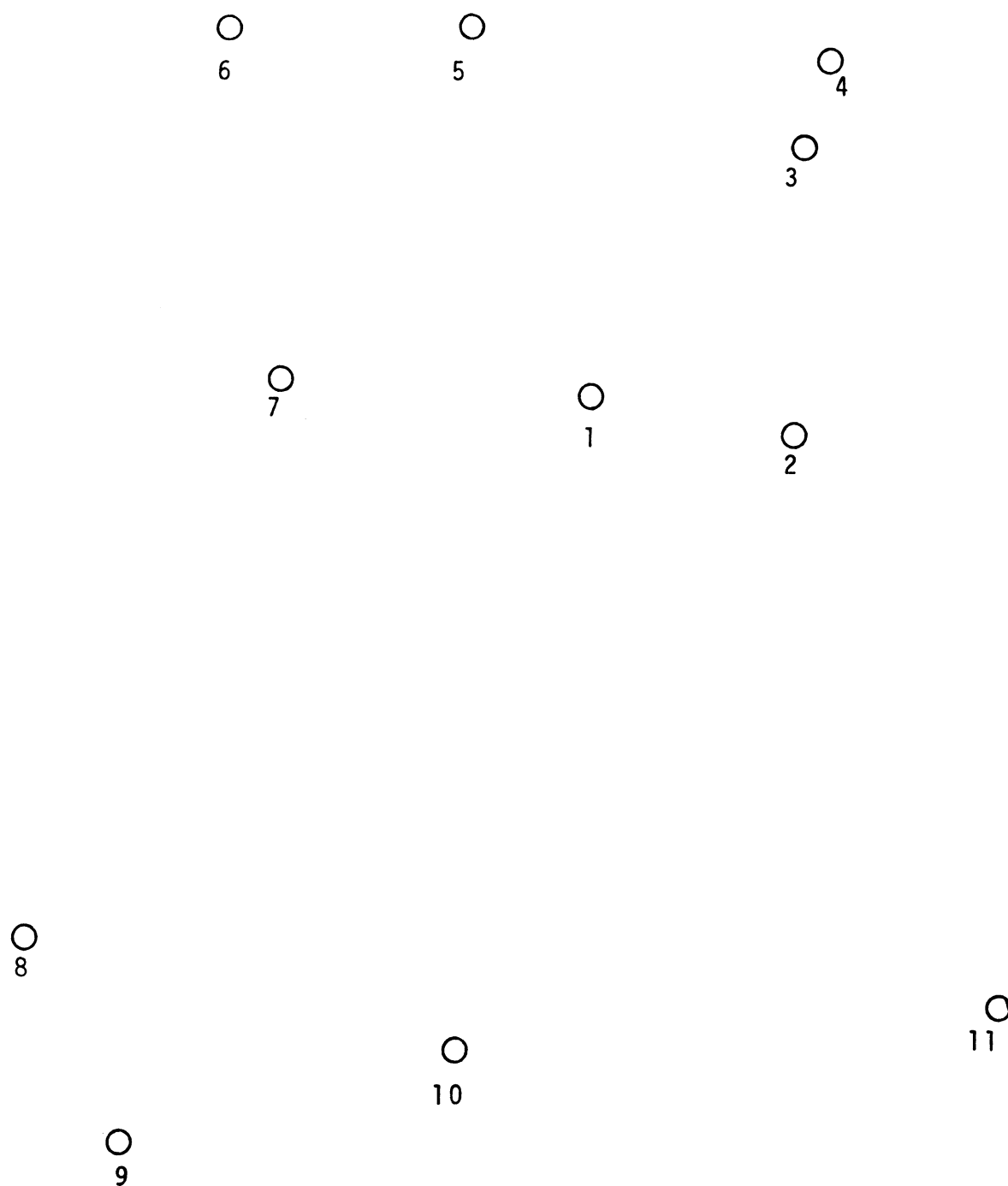
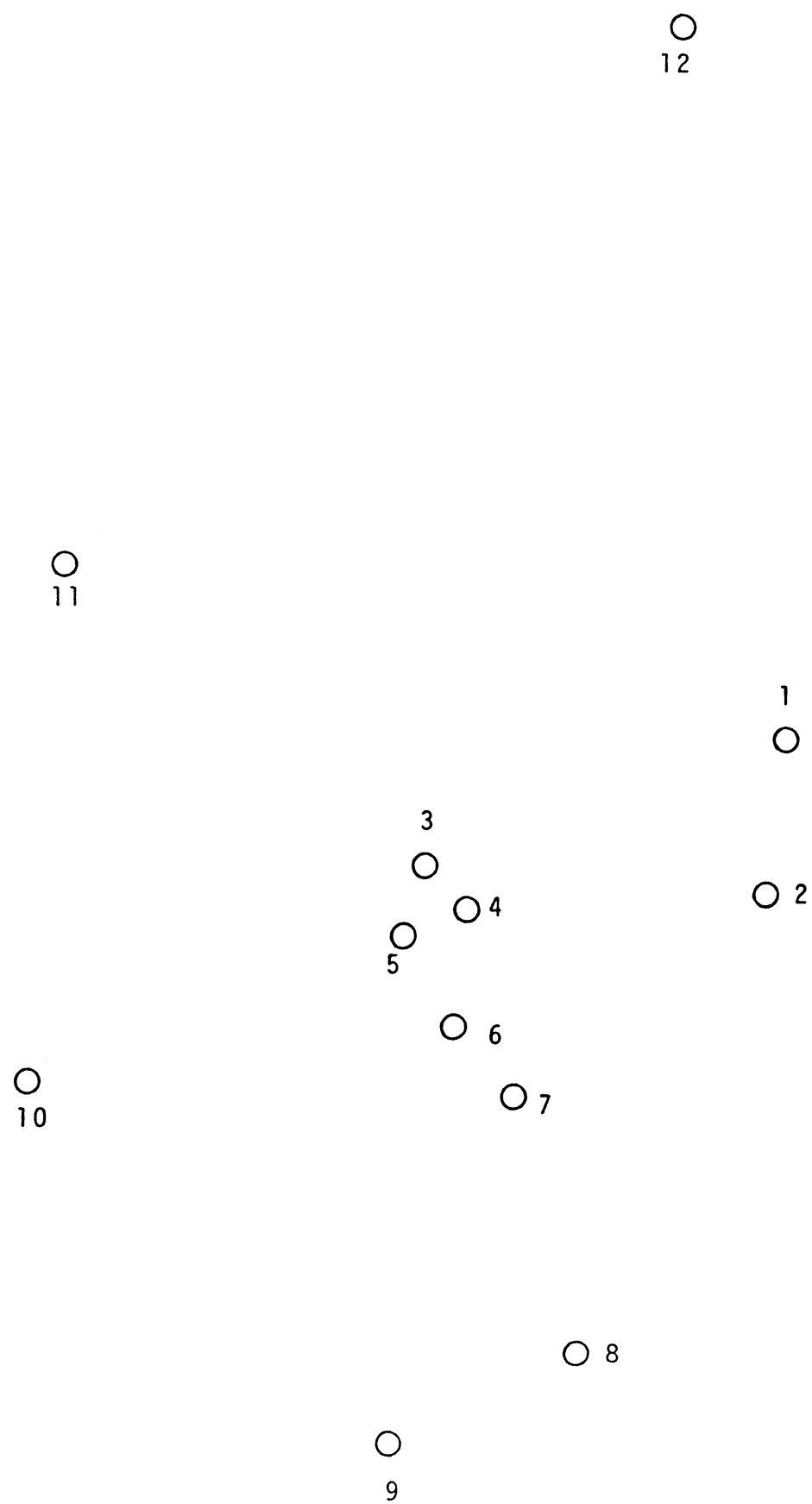


FIGURA 12 Numeração dos pontos da rede da Figura 9



sendo definida a função MÓDULO ARITMÉTICO " mod " como :

$a \text{ [mod } b \text{]} = \text{resto da divisão de " a " por " b "}$

assim

$$(k + j) \text{ [mod } m \text{]} = (k + j) - \text{INT} \left[\frac{k + j}{m} \right] m$$

m : Número total de pontos da rede

sendo

$$\text{INT} \left[\frac{k + j}{m} \right] : \text{Parte inteira de } \left[\frac{k + j}{m} \right]$$

3.2.1 Estratégia para rede com geometria de Poligonal considerando 3 receptores e 3 ocupações por ponto.

Na fig. 13, apresenta-se o diagrama de blocos do algoritmo correspondente a esta situação, que permite realizar exatamente 3 ocupações por ponto.

Como foi mencionado anteriormente, começa-se por numerar os pontos da rede. Calcula-se o número de sessões necessárias para atingir o número de ocupações previstas segundo a seguinte expressão :

$$S = n \frac{m}{R}$$

onde

S : Número de sessões necessárias

m : Número total de pontos da rede

R : Número total de receptores disponíveis

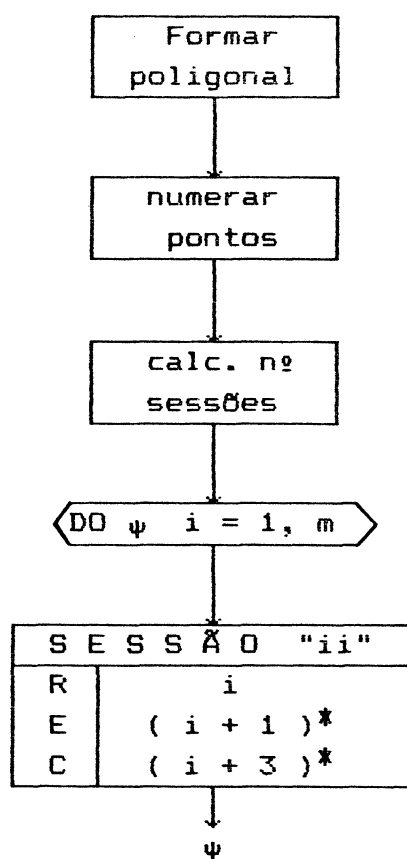
n : Número total de ocupações por ponto

Considerando neste caso três receptores ($R = 3$) e três ocupações por ponto ($n = 3$), temos que o número total de sessões (S) é

$$S = 3 \frac{m}{3} \longrightarrow \boxed{S = m}$$

isto é, para o caso $R = 3$ e $n = 3$ temos tantas sessões quanto

Fig. 13 Rede de "m" pontos com geometria de POLIGONAL com 3 receptores e 3 ocupações por ponto.



número de pontos na rede. Uma vez calculado o número de sessões são determinadas as posições dos três receptores para cada sessão segundo as expressões contidas no diagrama de blocos.

Na tabela 1 mostra-se esquemas de observação (isto é, os pontos que serão observados em cada sessão) obtidos com este algoritmo, considerando os casos de redes com 11, 12 e 15 pontos.

TABELA 1 Esquemas de observação gerados pelo algoritmo para 3 receptores e 3 ocupações por ponto.
Geometria de Poligonal

Nº " S "	N U M E R O D E P O N T O S D A R E D E " m "								
	m = 11			m = 12			m = 15		
	P O R	O S	R E C E P T O R E S	N O S	P O N T O S				
1	↓	1	2	4	↓	1	2	4	↓
2		2	3	5		2	3	5	
3		3	4	6		3	4	6	
4		4	5	7		4	5	7	
5		5	6	8		5	6	8	
6		6	7	9		6	7	9	
7		7	8	10		7	8	10	
8		8	9	11		8	9	11	
9		9	10	1		9	10	12	
10		10	11	2		10	11	1	
11		11	1	3		11	12	2	
12						12	1	3	
13							13	14	1
14							14	15	2
15							15	1	3

A fig. 14 mostra este algoritmo aplicado a uma Rede Metropolitana de Curitiba, constituída por 15 pontos (fig. 7).

A fig. 15 mostra a aplicação do algoritmo sobre uma rede de 12 pontos situada na cidade de Recife (fig. 9).

A fig. 16 mostra a aplicação deste algoritmo sobre um conjunto de 11 vértices pertencentes a Rede de Triangulação Brasileira (fig. 8).

FIGURA 14 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 3 receptores, 3 ocupações por ponto
 $m=15$

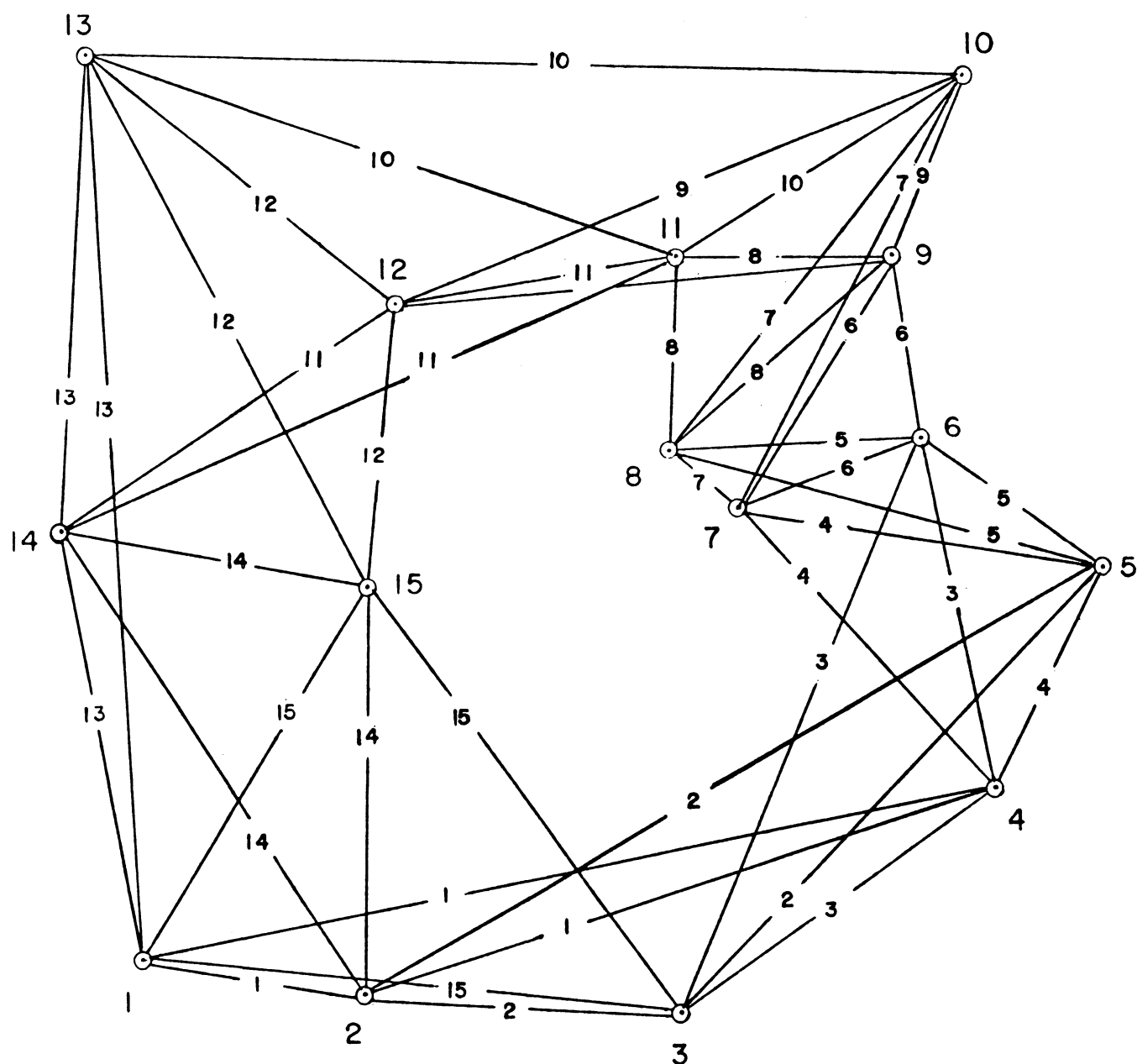


FIGURA 15 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
3 receptores, 3 ocupações por ponto; $m=12$

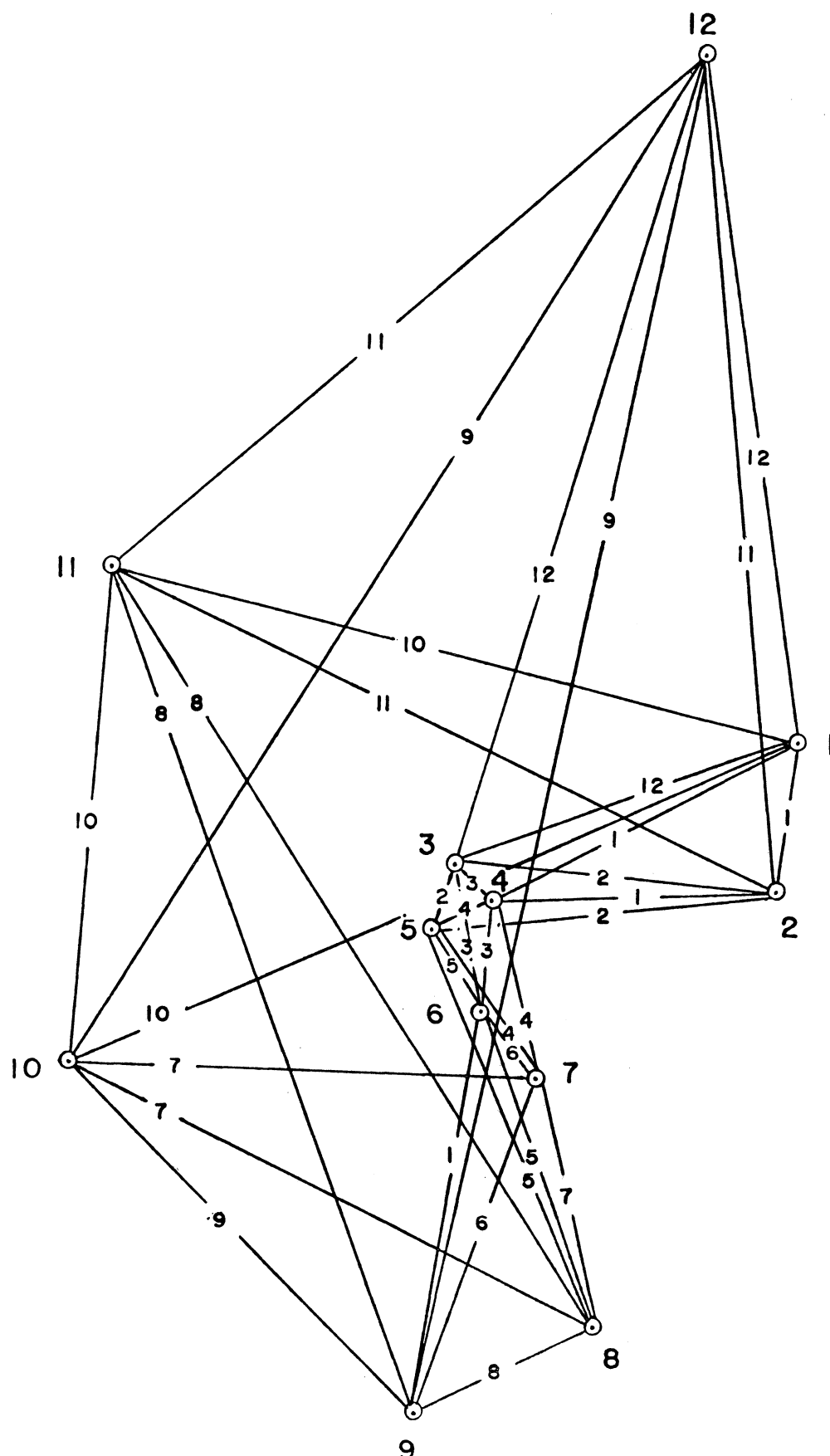
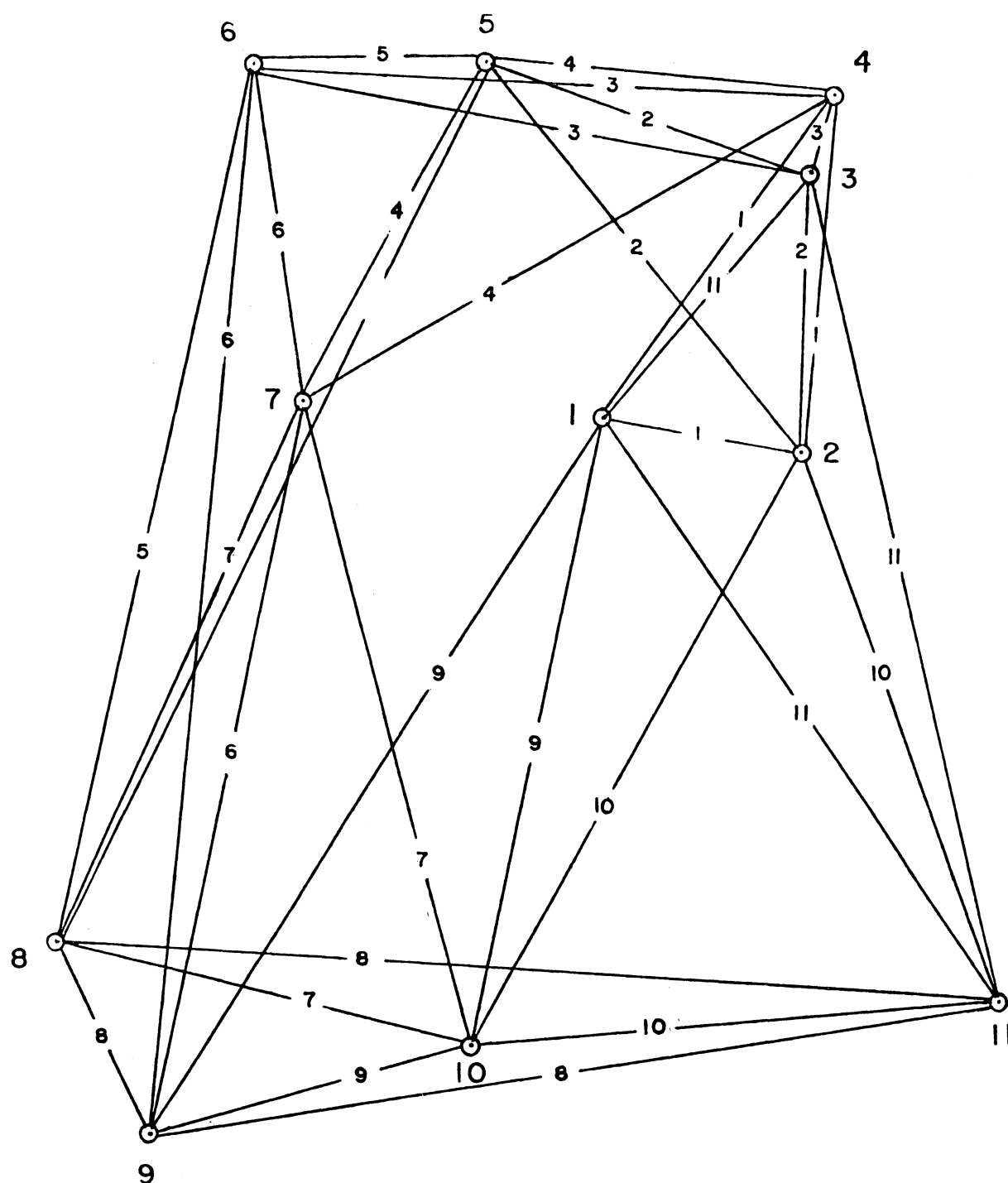


FIGURA 16 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 3 receptores, 3 ocupações por ponto
 $m=11$



3.2.2 Estratégia para Rede com geometria de Poligonal, considerando 3 receptores e 2 ocupações por ponto.

O número de sessões necessárias, calcula-se por :

$$S = n \frac{m}{R}$$

Considerando três receptores ($R = 3$) e duas ocupações por ponto ($n = 2$), temos

$$S = 2 \frac{m}{3}$$

sendo que o número de sessões " S " tem que ser um número inteiro, é claro que isto só acontece no caso em que o número de pontos da rede seja múltiplo de três, isto é

$$m \text{ [mod 3]} = 0$$

A continuação serão apresentadas estratégias para ambos os casos :

- i) $m \text{ [mod 3]} = 0$
- ii) $m \text{ [mod 3]} \neq 0$
 - a) $m \text{ [mod 3]} = 1$
 - b) $m \text{ [mod 3]} = 2$

3.2.2.1 Caso em que $m \text{ [mod 3]} = 0$, $R = 3$, $n = 2$

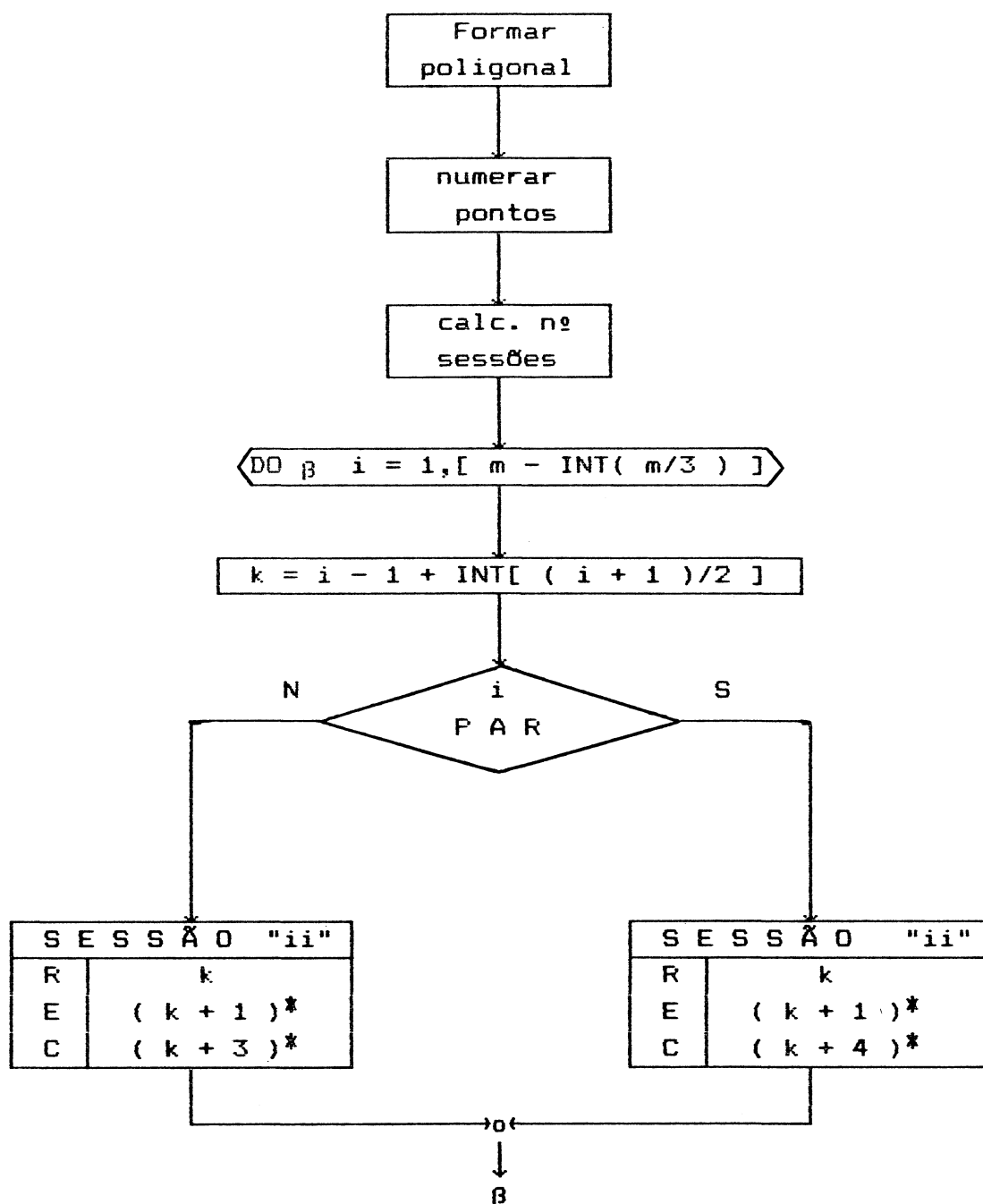
Na fig. 17, apresenta-se o diagrama de blocos do algoritmo deste caso, que permite realizar exatamente duas ocupações por ponto.

Começa-se por numerar os pontos da Rede aplicando o critério anteriormente apresentado. Em seguida, calcula-se o número de sessões com a expressão

$$S = n \frac{m}{R} \quad \text{ou} \quad S = m - \text{INT} \left[\frac{m}{3} \right]$$

Os pontos que serão ocupados pelos três receptores em cada sessão, são definidos conforme o diagrama de blocos da figura 17.

Fig. 17 Rede de "m" pontos com geometria de POLIGONAL com 3 receptores e 2 ocupações por ponto. Caso em que $m \bmod 3 \neq 2$



A tabela 2 apresenta esquemas de observação obtidos com este algoritmo para o caso de redes com 12 e 15 pontos.

A fig.18 mostra este algoritmo aplicado na Rede de 12 pontos da fig. 9.

A fig.19 apresenta a aplicação sobre a Rede Metropolitana de Curitiba com 15 pontos (fig. 7).

TABELA 2. Esquema de observação gerados pelos algoritmos para 3 receptores e 2 ocupações por ponto.
Geometria de Poligonal

N ^o "S"	NÚMERO DE PONTOS DA REDE " m "				
	m = 11	m = 12	m = 13	m = 14	m = 15
	P O R	O S	R E C E P T O R E S	N O S	P O N T O S
	↓	↓	↓	↓	↓
1	1 2 4	1 2 4	1 2 4	1 2 4	1 2 4
2	2 3 6	2 3 6	2 3 6	2 3 6	2 3 6
3	4 5 7	4 5 7	4 5 7	4 5 7	4 5 7
4	5 6 9	5 6 9	5 6 9	5 6 9	5 6 9
5	7 8 10	7 8 10	7 8 10	7 8 10	7 8 10
6	8 9 1	8 9 12	8 9 12	8 9 12	8 9 12
7	10 11 2	10 11 1	10 11 13	10 11 13	10 11 13
8	11 1 3	11 12 3	11 12 2	11 12 1	11 12 15
9			13 1 3	13 14 2	13 14 1
10				14 1 3	14 15 3

3.2.2.2 Caso em que $m \text{ [mod } 3] = 1$, $R=3$, $n = 2$

Depois de numerados os pontos segundo o criterio exposto anteriormente, procede-se à determinação do número de sessões. Sendo o número de pontos da Rede (m) um valor não múltiplo de três (isto é, $m \text{ [mod } 3] \neq 0$), temos que o número de sessões calculado segundo a expressão

$$S = n \frac{m}{R}$$

não é um valor inteiro. Neste caso determina-se " S " conforme a seguinte relação

$$S = m - \text{INT} \left[\frac{m}{3} \right]$$

FIGURA 18 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 3 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m(\bmod 3) = 0$, $m=12$

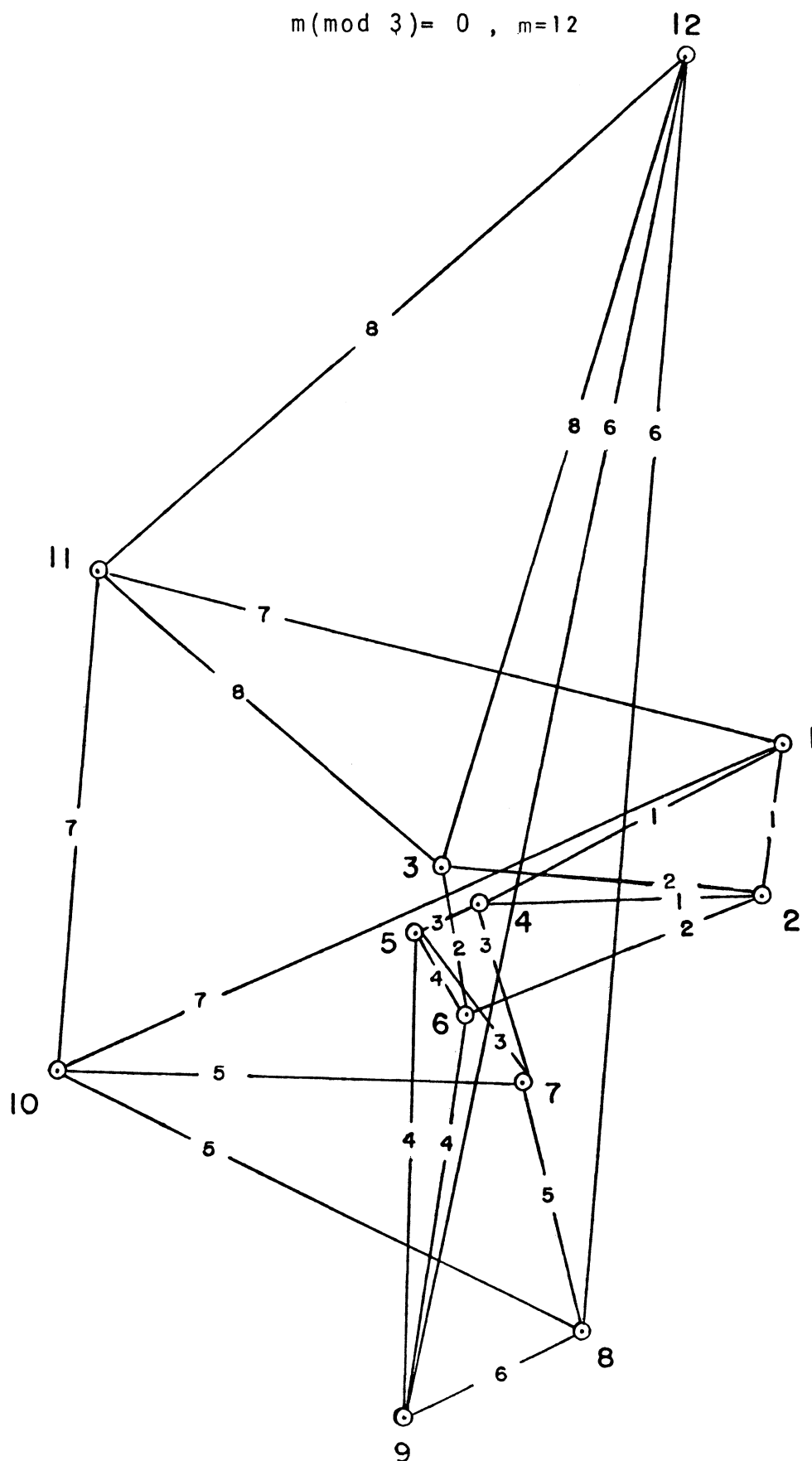
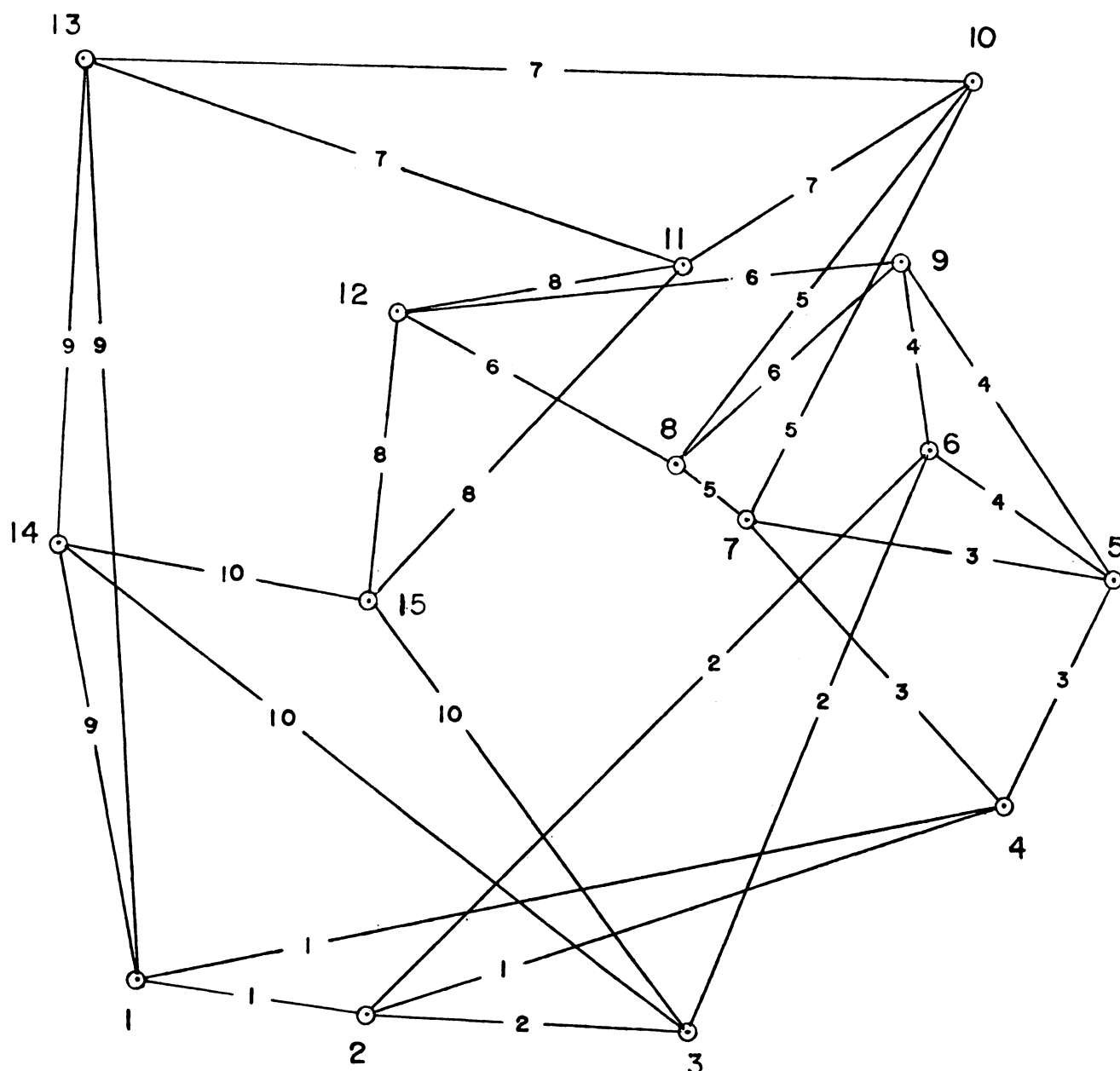


FIGURA 19 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 3 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m(\text{mod } 3) = 0$, $m=15$



Com exceção no cálculo do número de sessões, este caso utiliza o mesmo algoritmo do item 3.2.2.1 apresentado na fig 17. Com este algoritmo, vamos obter duas ocupações para cada ponto da rede, com exceção do ponto número 2 que será ocupado por três vezes.

A tabela 2 apresenta o esquema de observação obtido com este algoritmo para o caso de uma rede com 13 pontos.

3.2.2.3 Caso em que $m \text{ [mod 3]} = 2$, $R = 3$, $n = 2$

Neste caso da mesma maneira que no anterior (3.2.2.2) numeramos os pontos da rede e determina-se o número de sessões através da expressão

$$S = m - \text{INT} \left[\frac{m}{3} \right]$$

em seguida são definidos os pontos em que serão instalados os receptores em cada uma das sessões, conforme o diagrama de blocos da fig. 20

Neste caso, todos os pontos serão ocupados duas vezes excepto os pontos número 1 e 2 , que serão ocupados por três sessões.

A tab.2 apresenta o esquema de observação obtido através deste algoritmo para o caso de redes com 11 e 14 pontos.

Na fig.21 tem-se este algoritmo aplicado ao conjunto de 11 vértices da Rede de Triangulação Brasileira (fig. 8)

3.2.3 Estratégias para Rede com geometria de Poligonal, considerando 4 receptores e 3 ocupações por ponto

A expressão que permite determinar o número de sessões a serem realizadas para obter exatamente três ocupações por ponto é dada por

$$S = n \frac{m}{R}$$

sendo $n = 3$

$R = 4$

temos

$$S = 3 \frac{m}{4}$$

obviamente " S " será um número inteiro só se " m " for múltiplo de 4 .

Fig. 20 Rede de "m" pontos com geometria de POLIGONAL com 3 receptores e 2 ocupações por ponto. Caso em que $m \bmod 3 = 2$

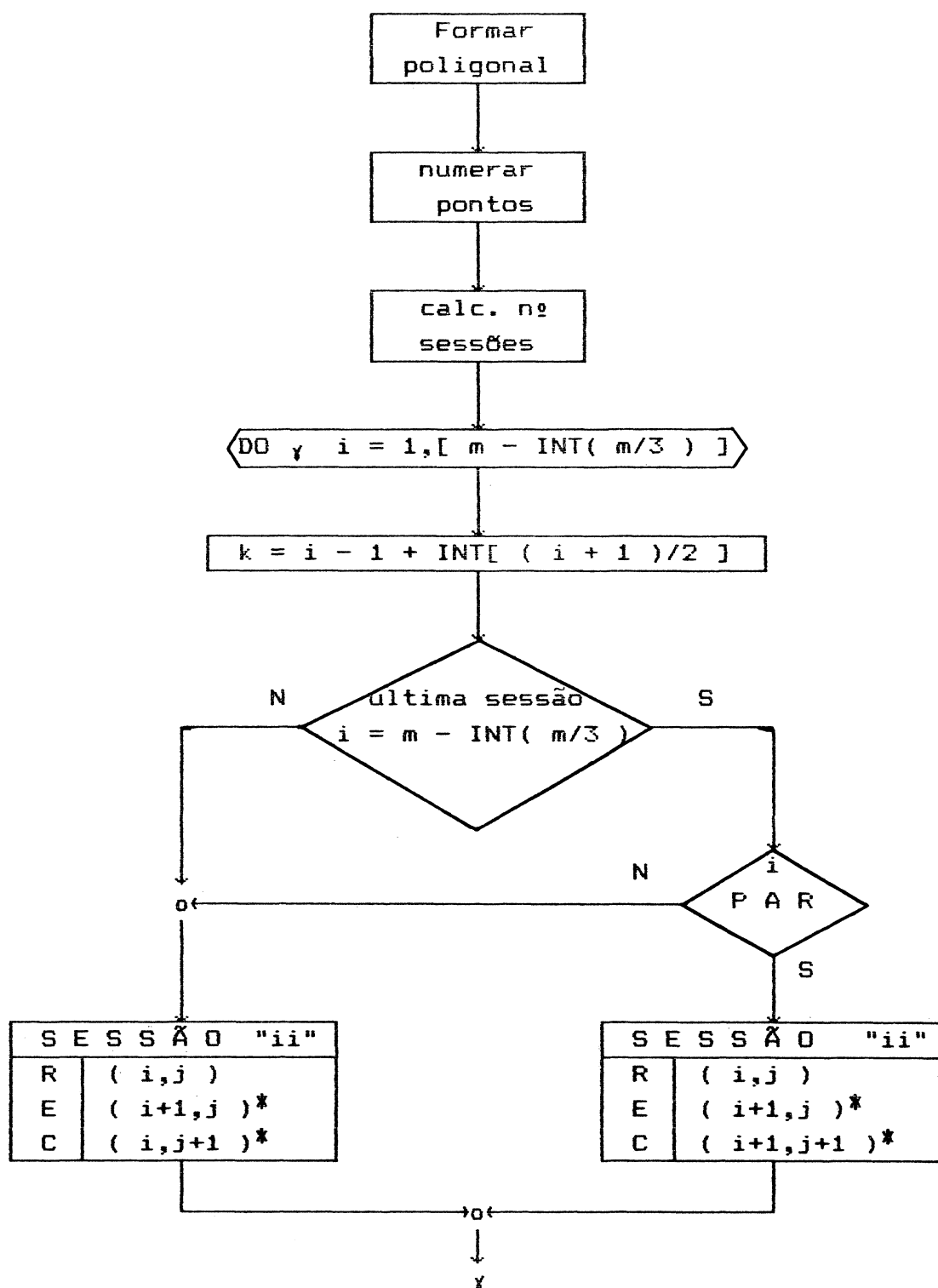
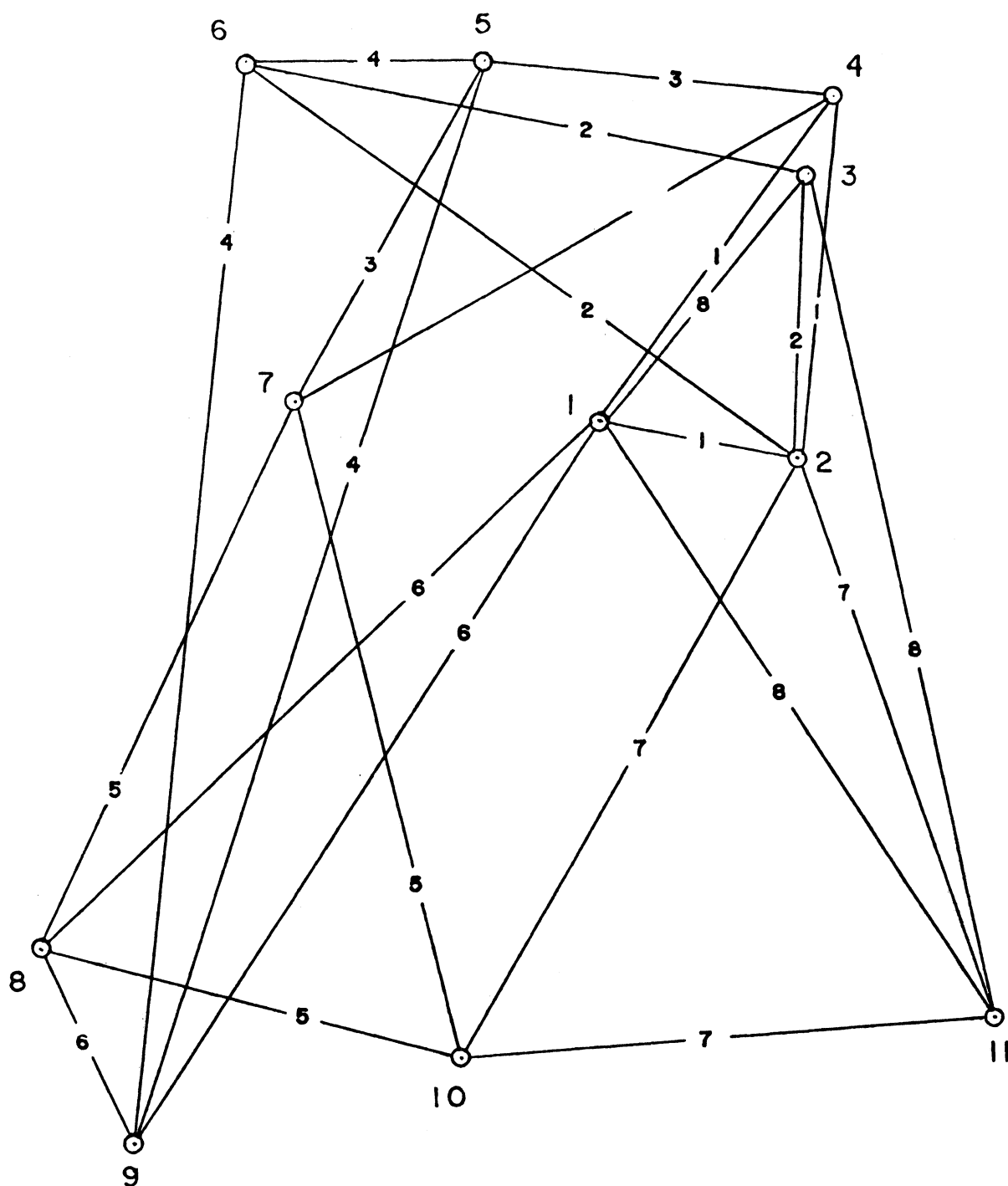


FIGURA 21 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 3 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m(\text{mod } 3) = 2$, $m=11$



A seguir apresentam-se os algoritmos que definem as estratégias para os casos em que

- i) " m " é múltiplo de 4 $\longrightarrow m [\text{mod } 4] = 0$
 ii) " m " não é múltiplo de 4 $\longrightarrow m [\text{mod } 4] \neq 0$

3.2.3.1 Caso em que $m [\text{mod } 4] = 0$, $R = 4$, $n = 3$

Sendo múltiplo de quatro o número total (m) de pontos da rede, é possível obter exatamente três ocupações por ponto. Como nos casos anteriores, efetua-se a numeração dos pontos e o cálculo do número de sessões a serem efetuadas, segundo a relação

$$S = n \frac{m}{R} \quad \text{ou} \quad S = m - \left[\frac{m}{4} \right]$$

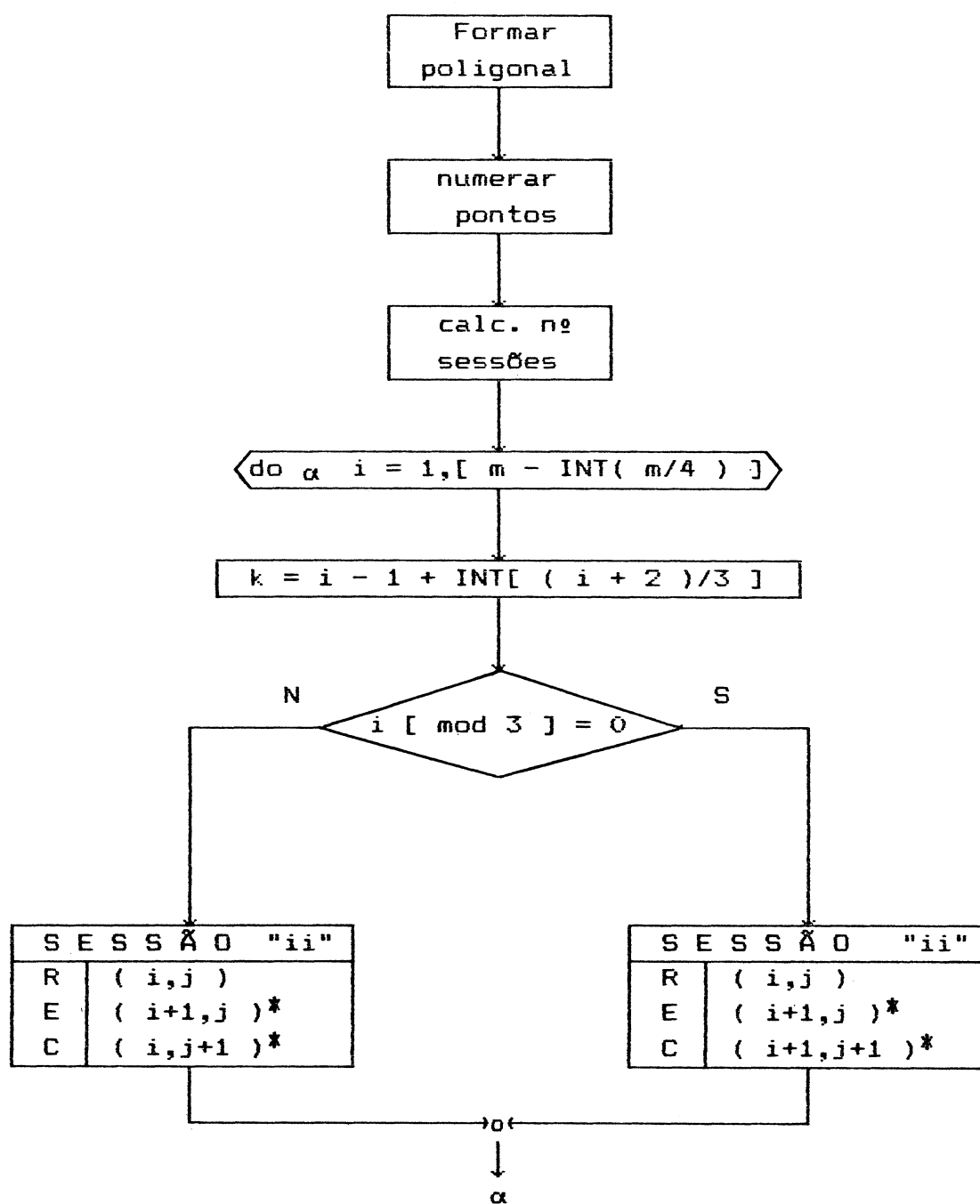
A seguir são determinadas as posições que ocuparão os receptores em cada sessão, conforme indica o diagrama de blocos da fig. 22 .

Na tabela 3 encontra-se o esquema de observação gerado por este algoritmo para o caso de uma rede formada por 12 pontos.

TABELA 3. Esquemas de observação gerados pelos algoritmos para 4 receptores e 3 ocupações por ponto.
Geometria Poligonal

Nº "S"	NÚMERO DE PONTOS DA REDE " m "																			
	m = 11				m = 12				m = 13				m = 14				m = 15			
	P O R O S R E C E P T O R E S N O S P O N T O S																			
	↓				↓				↓				↓				↓			
1	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8
2	2	3	5	9	2	3	5	9	2	3	5	9	2	3	5	9	2	3	5	9
3	3	4	6	11	3	4	6	11	3	4	6	11	3	4	6	11	3	4	6	11
4	5	6	8	1	5	6	8	12	5	6	8	12	5	6	8	12	5	6	8	12
5	6	7	9	2	6	7	9	1	6	7	9	13	6	7	9	13	6	7	9	13
6	7	8	10	4	7	8	10	3	7	8	10	2	7	8	10	1	7	8	10	15
7	9	10	1	5	9	10	12	4	9	10	12	3	9	10	12	2	9	10	12	1
8	10	11	2	6	10	11	1	5	10	11	13	4	10	11	13	5	10	11	13	2
9	11	1	3	7	11	12	2	7	11	12	1	5	11	12	14	4	11	12	14	4
10									13	1	3	7	13	14	2	6	13	14	1	5
11													14	1	3	7	14	15	2	6
																	15	1	3	7

Fig. 22 Rede de "m" pontos com geometria de POLIGONAL com 4 receptores e 3 ocupações por ponto. Caso em que $m \bmod 4 = 0$



3.2.3.2 Caso em que $m \text{ [mod } 4] \neq 0$, $R = 4$, $n = 3$

Considerando o caso em que o número total (m) de pontos da rede não seja múltiplo de quatro, temos que o número de sessões fica definido pela expressão

$$S = m - \text{INT} \left[\frac{m}{4} \right]$$

Uma vez numerados os pontos e calculado o número de sessões, os pontos da rede que serão ocupados para cada sessão são estabelecidos como indica o diagrama de blocos da fig. 21 Na Tabela 3 encontra-se o esquema de observação para este caso, considerando redes com 11, 13, 14 e 15 pontos. As figuras 24 e 25 mostram este algoritmo aplicado as redes de 11 e 15 pontos, respectivamente.

3.2.4 Estratégias para Rede com geometria de Poligonal, considerando 4 receptores e 2 ocupações por ponto

Seguindo o mesmo critério das estratégias anteriores, primeiro numeram-se os pontos da rede e a seguir calcula-se o número de sessões correspondentes através da expressão

$$S = m - \text{INT} \left[\frac{m}{2} \right]$$

O diagrama de blocos da fig. 26 indica como são determinados os pontos que ocuparão os receptores em cada sessão.

A tabela 4 contém o esquema de observação gerado por este algoritmo para o caso de redes com 11, 12 e 15 pontos. Aplicações deste algoritmo sobre redes de 11 e 15 pontos encontram-se nas figuras 27 e 28 respectivamente.

TABELA 4 Esquemas de observação gerados pelo algoritmo para 4 receptores e 2 ocupações por ponto. Geom. Poligonal

Nº	NÚMERO DE PONTOS DA REDE " m "											
	m = 11				m = 12				m = 15			
"S"	P O R O S R E C E P T O R E S N O S P O N T O S											
1	↓ 1	2	4	5	↓ 1	2	4	5	↓ 1	2	4	5
2	3	4	6	7	3	4	6	7	3	4	6	7
3	5	6	8	9	5	6	8	9	5	6	8	9
4	7	8	10	11	7	8	10	11	7	8	10	11
5	9	10	2	3	9	10	12	1	9	10	12	13
6	11	1	3	8	11	12	2	3	11	12	2	3
7									13	1	3	8

Fig. 23 Rede de "m" pontos com geometria de POLIGONAL com 4 receptores e 3 ocupações por ponto. Caso em que $m \text{ [MOD } 4] \neq 0$

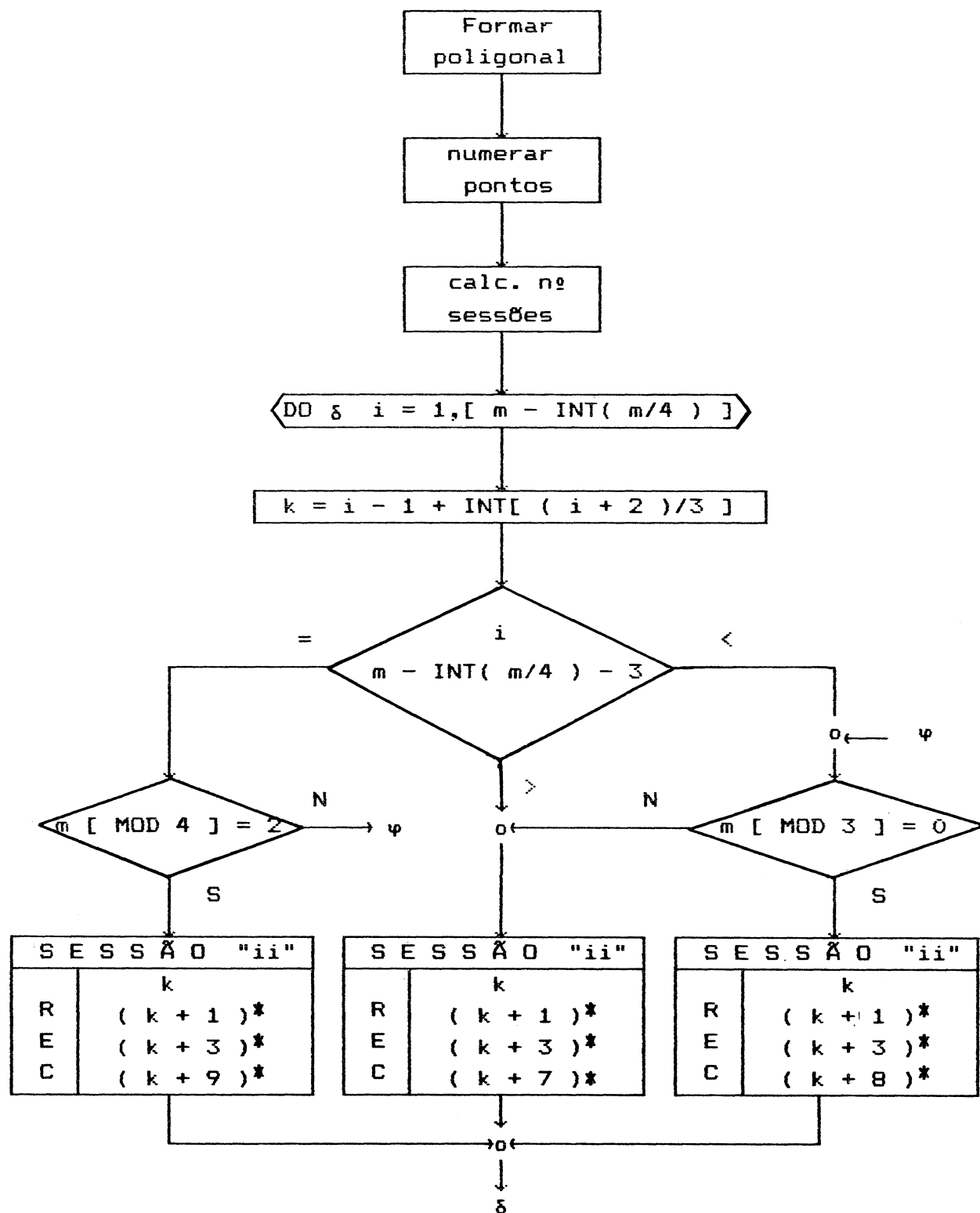


FIGURA 24 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 4 receptores, 3 ocupações por ponto
 $m=11 \quad m(\bmod 4) \neq 0$

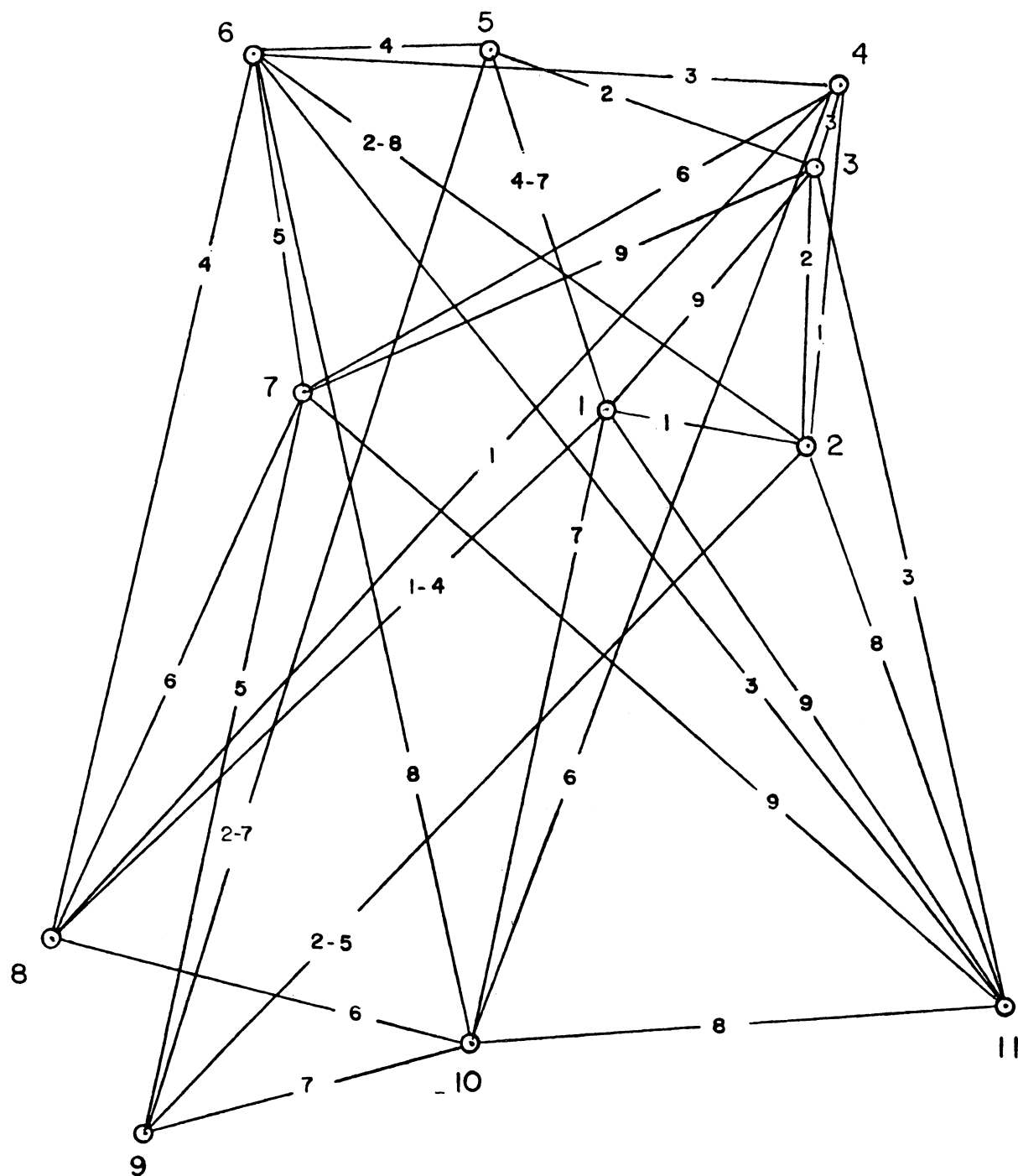


FIGURA 25 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 4 receptores, 3 ocupações por ponto
 $m(\text{mod } 4) \neq 0$ $m=15$

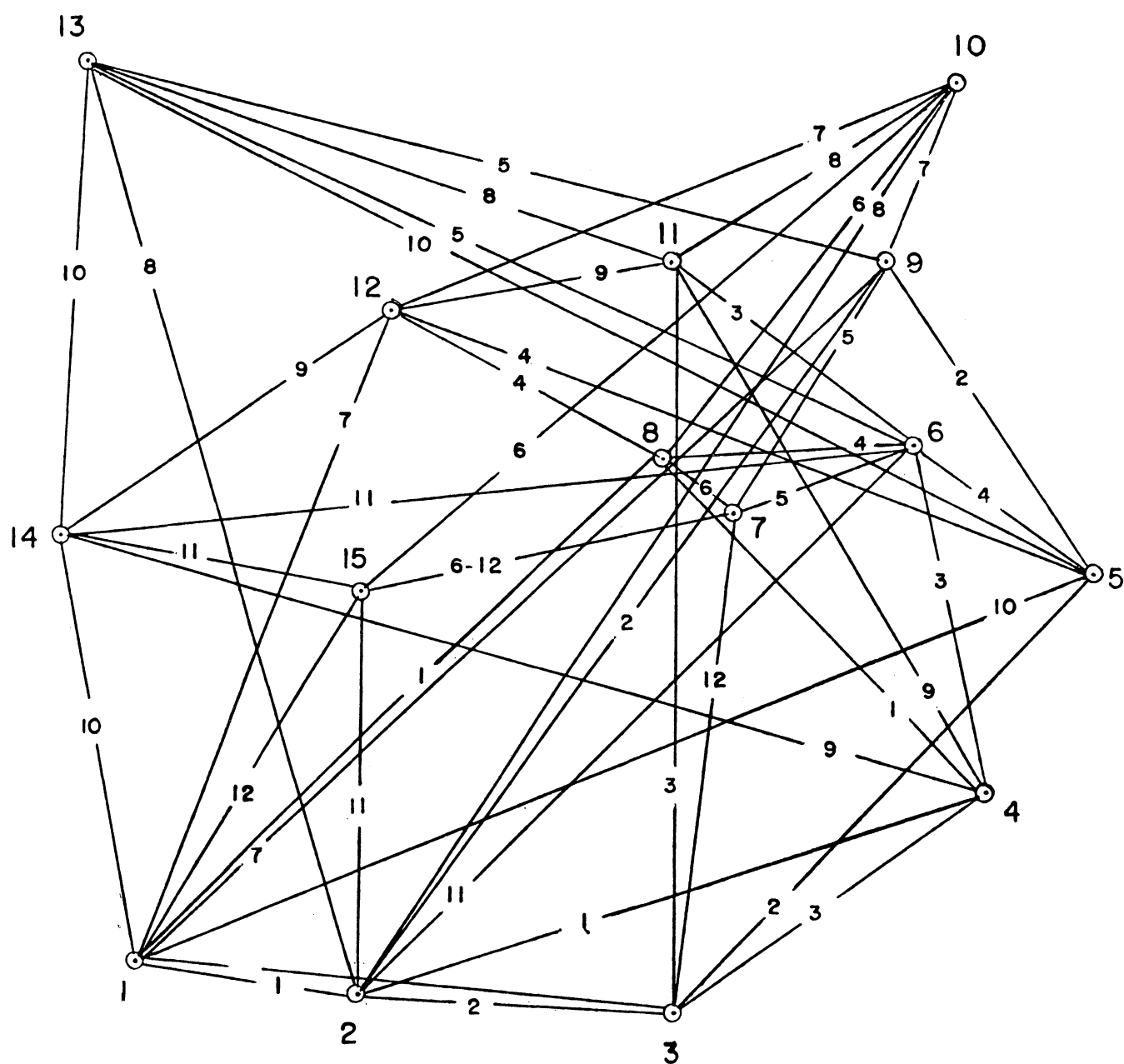


Fig. 26 Rede de "m" pontos com geometria de POLIGONAL com 4 receptores e 2 ocupações por ponto.

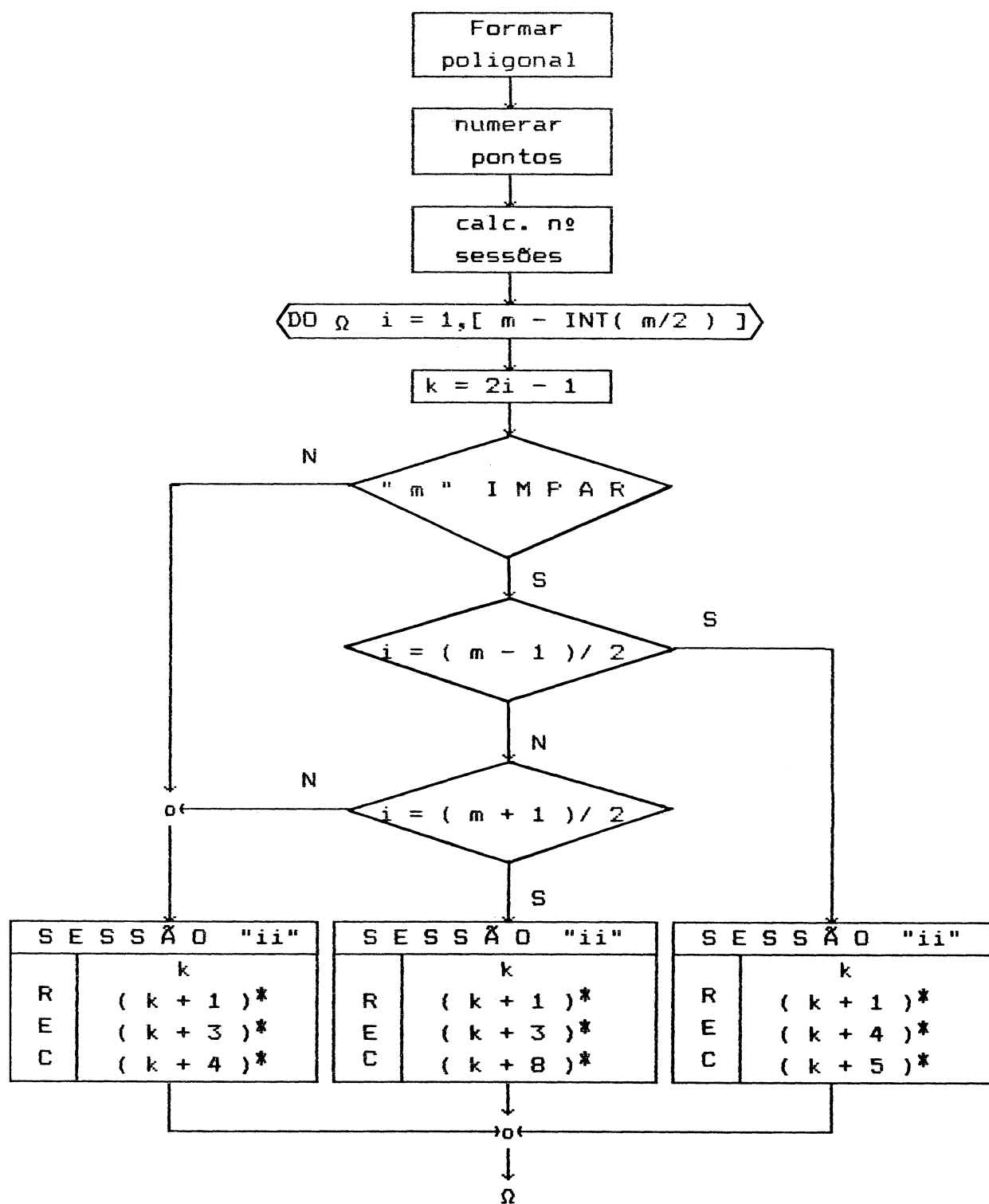


FIGURA 27 REDE gerada com algoritmo de PÖLIGONAL
 4 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m = 11$

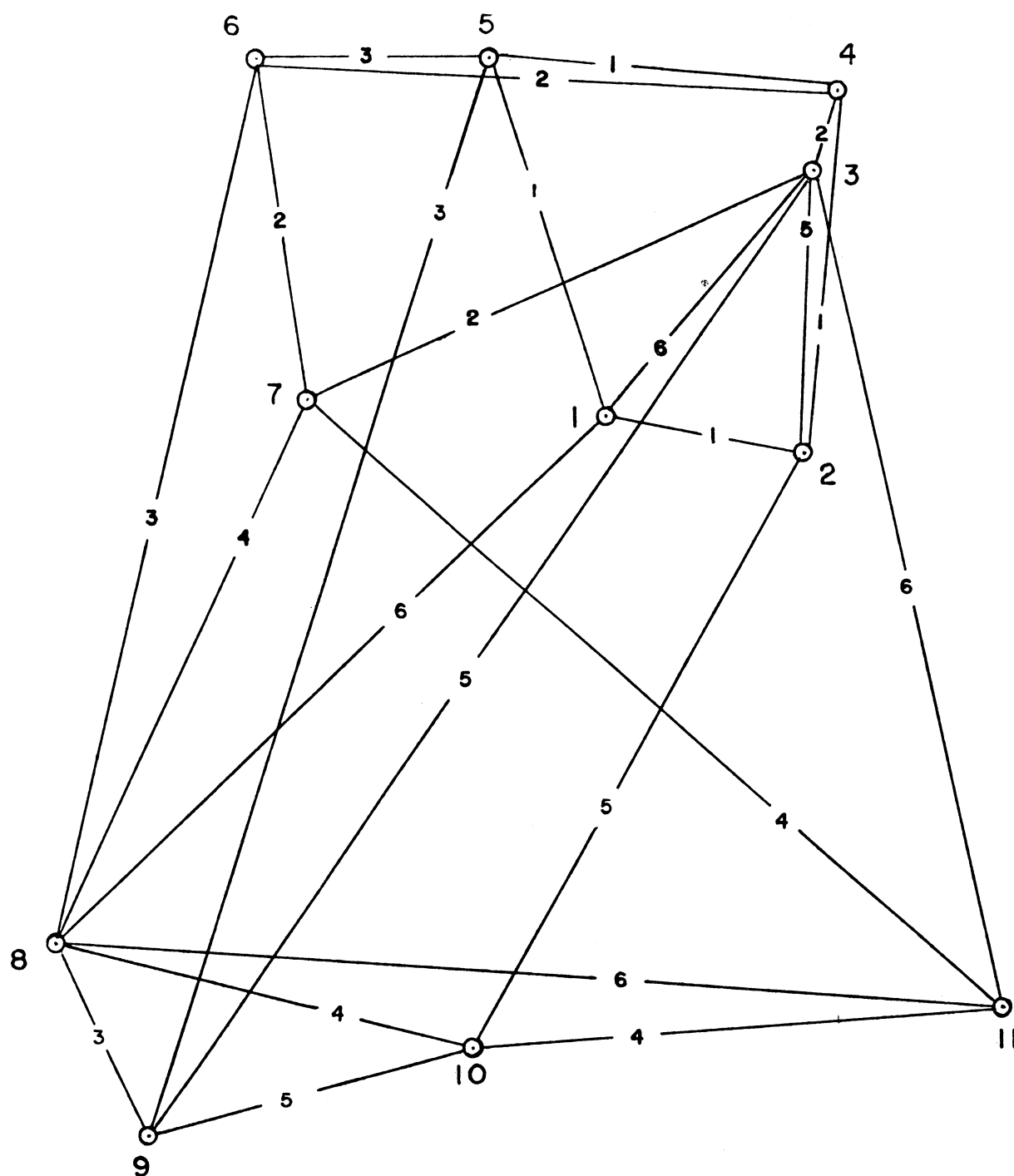
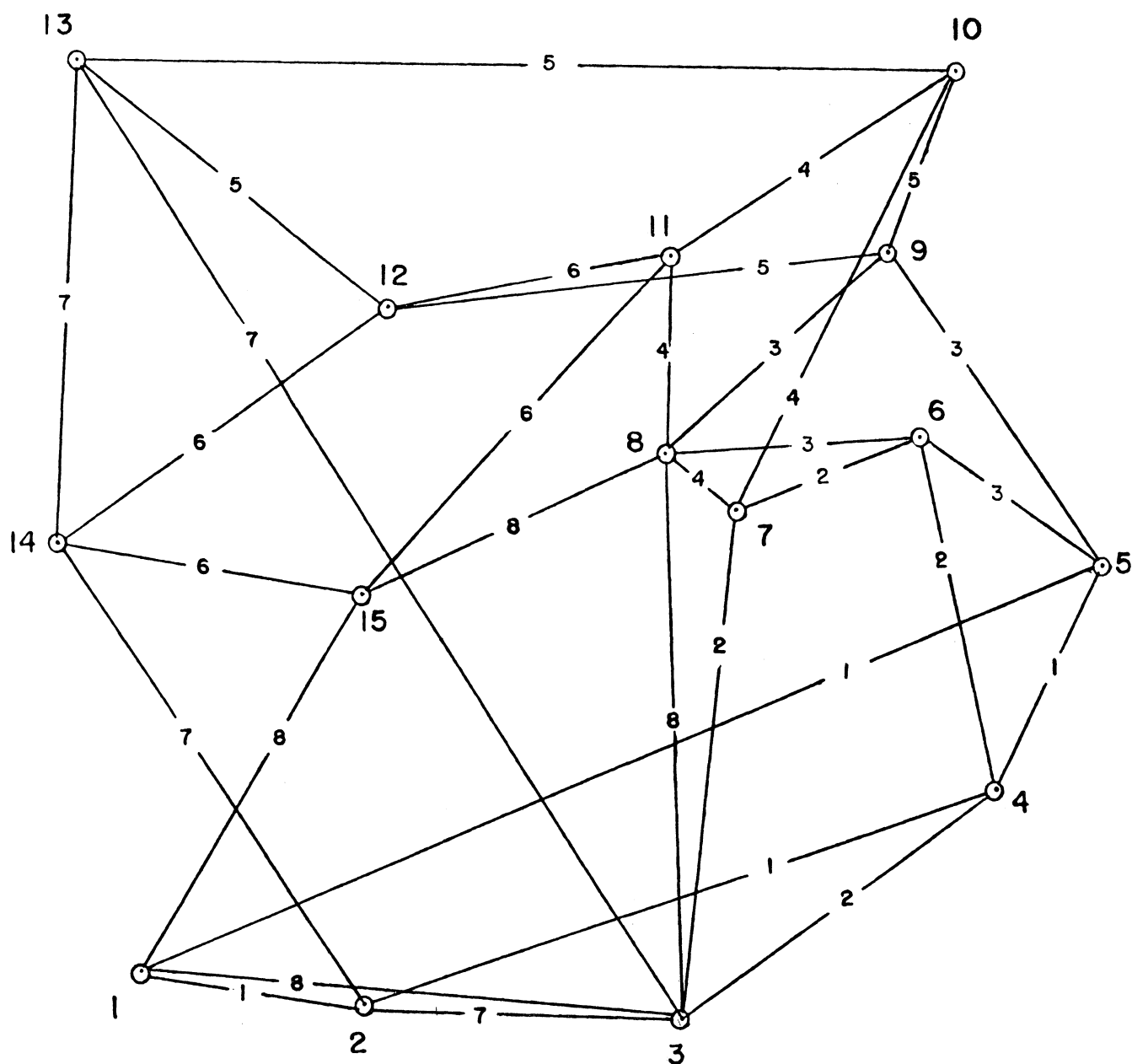


FIGURA 28 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL
 4 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m = 15$



3.3 ESTRATÉGIAS PARA REDES COM GEOMETRIA AREAL

Assim como foram apresentadas estratégias para serem aplicadas no caso em que os pontos estejam distribuídos em forma de Poligonal, neste item são apresentadas estratégias a serem aplicadas em redes cujos pontos tenham uma distribuição mais ou menos homogênea ao longo de uma área aproximadamente retangular.

Para referenciar os pontos neste tipo de rede, é utilizada uma matriz de pares de coordenadas. Assim, cada ponto é identificado pelas suas coordenadas (i, j) , onde

$$i = 1, 2, 3, \dots, m_1$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m_2$$

para uma rede de $m_1 * m_2$ pontos.

Para definir a matriz, determinam-se os valores de m_1 e m_2 de maneira que

$$m = m_1 * m_2$$

onde

m : Número total de pontos da rede

Assim, fica relacionado cada ponto da rede com um par de coordenadas (i, j) .

As figuras 29 e 30 mostram a matriz definida para as redes das figuras 7 e 9 respectivamente, nas quais serão aplicados os algoritmos de redes com geometria Areal para gerar os esquemas de observação. Assim, a fig. 29 mostra um conjunto de 15 pontos sobre os quais foi definida uma matriz com $m_1 = 3$ e $m_2 = 5$. A fig. 30 mostra um conjunto de 12 pontos, sendo definida uma matriz com $m_1 = 3$ e $m_2 = 4$.

As figuras 35, 42, 44, e 49 mostram redes geradas pela aplicação dos algoritmos para geometria Areal. A numeração das linhas não obedece à ordem sequencial de sessões, simplesmente diferencia uma sessão de outra qualquer.

As estratégias para diferente número tanto de receptores quanto de ocupações por ponto, são apresentadas através de diagramas de blocos. Para uma maior compactação dos diagramas, tem-se utilizado a seguinte notação :

SESSÃO " x "	
R	(i, j)
E	$(i+1, j)^*$
C	$(i, j+k)^*$

Leia-se :

Na sessão " x " por os receptores
(3 neste caso) nos pontos
 (i, j) , $(i+1, j)^*$ e $(i, j+1)^*$

FIGURA 29 Matriz definida para a rede de 15 pontos.

$$m_1=3 \quad m_2=5$$

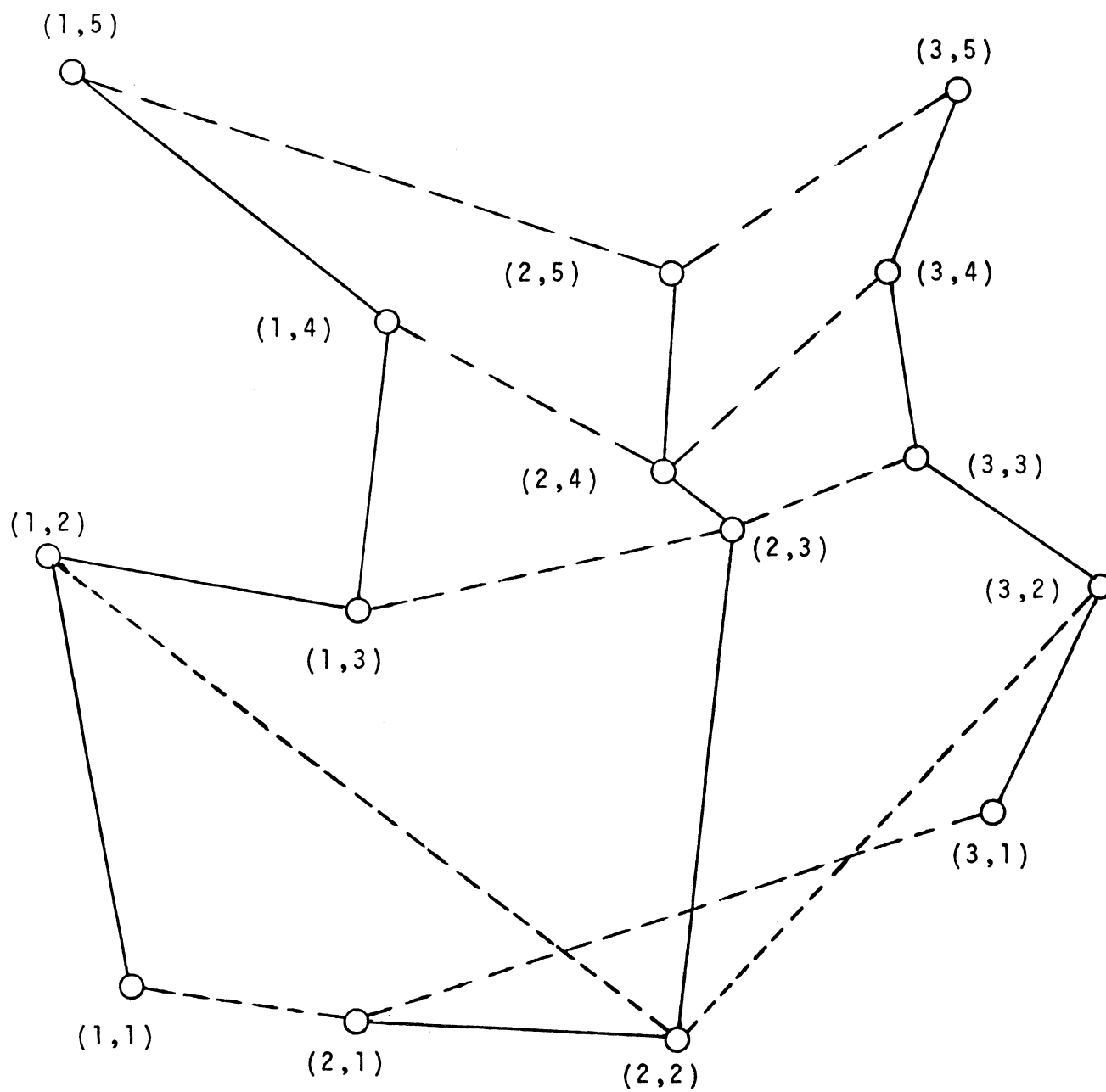
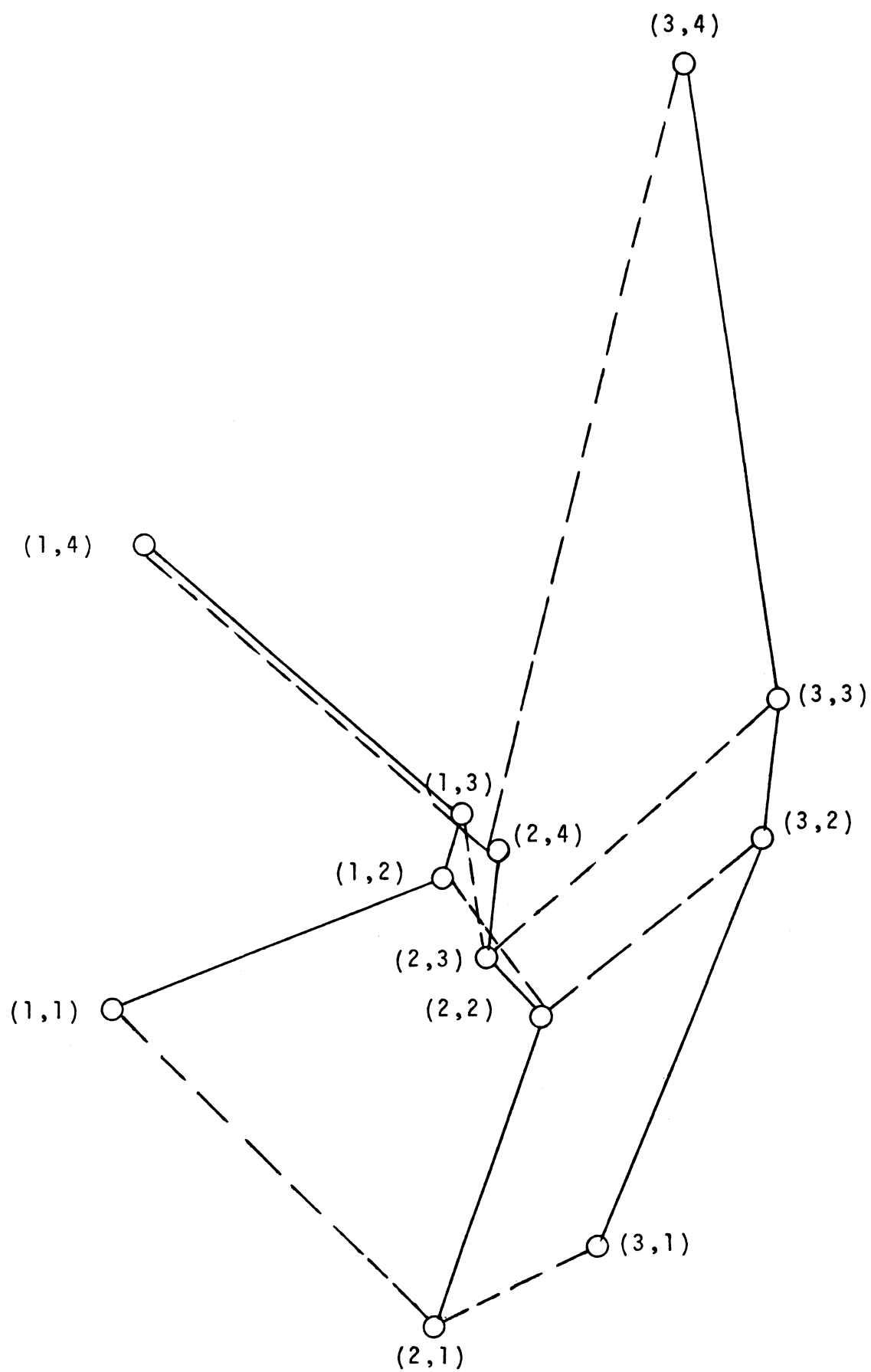


FIGURA 30 Matriz definida para a rede de 12 pontos

$$m_1=3 \quad m_2=4$$



onde

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, 3, \dots, m_1 \\ j &= 1, 2, 3, \dots, m_2 \end{aligned}$$

$(i+k, j)^*$: Considerar $(i+k) \bmod m_1$ se $(i+k) > m_1$
 $(i, j+k)^*$: Considerar $(j+k) \bmod m_2$ se $(j+k) > m_2$

sendo definida a função MÓDULO ARITMÉTICO " mod " como :

$$a \bmod b = \text{resto da divisão de "a" por "b"}$$

3.3.1 Estratégia para Rede com geometria Areal, considerando 3 receptores e 3 ocupações por ponto

Serão efetuadas $m_1 * m_2$ sessões de observação, sendo que em cada uma delas, os receptores serão instalados nos pontos (i, j) ; $(i+1, j)$ e $(i, j+1)$ como é indicado no diagrama de blocos da fig. 31.

Nas figuras 32 e 33, mostra-se um desenho esquematizando as posições dos receptores em cada sessão, obtida por este algoritmo considerando o caso de uma rede de 42 pontos [10]. Cada triângulo achurado corresponde a uma sessão de observação, onde cada vértice representa a posição de um receptor. Em benefício da clareza, na fig. 33 repetiu-se os pontos da linha e coluna 1 para ilustrar as longas linhas que cruzam a rede. Na fig. 34, mostra-se o desenho esquematizado para uma Rede de 15 pontos.

Na fig. 35 apresenta-se este algoritmo aplicado à Rede Metropolitana de Curitiba, formada por 15 pontos numerados conforme a figura 29.

3.3.2 Estratégia para Rede com geometria Areal, considerando 3 receptores e 2 ocupações por ponto

Será feita uma sessão de observação por cada valor de (i, j) tal que

$$(i-j) \bmod 3 \neq 0$$

com

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, 3, \dots, m_1 \\ j &= 1, 2, 3, \dots, m_2 \end{aligned}$$

À continuação serão apresentados algoritmos para os casos seguintes :

- a) $m_1 \bmod 3 = m_2 \bmod 3 = 0$
- b) $m_1 \bmod 3 = 0$; $m_2 \bmod 3 \neq 0$

FIGURA 31

Rede de $m_1 \times m_2$ pontos
com geometria AREAL .
3 rec., 2 ocup.por pto.

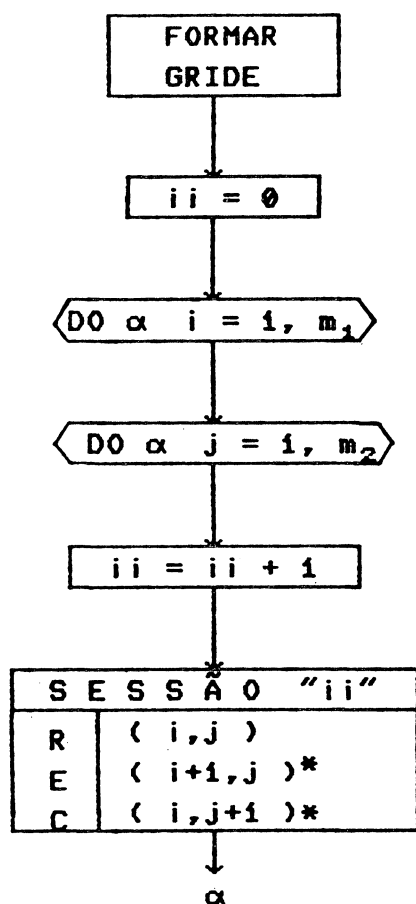


FIGURA 34

Esquema de observação
para rede de 15 pontos
Geometria AREAL, $R=3, N=3$

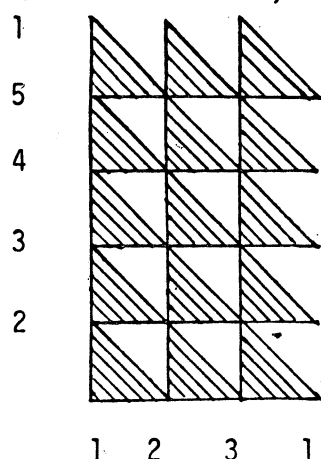


FIGURA 32

Esquema de observação para
rede de 42 pontos. (SNAY).
Geometria AREAL. $R=3, N=3$

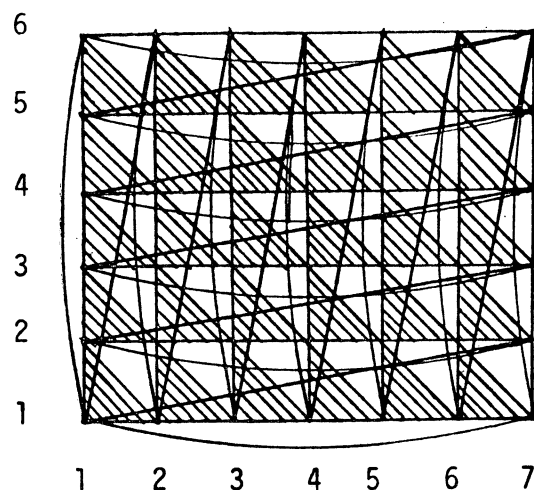


FIGURA 33

Esquema de observação para
rede de 42 pontos. (SNAY).
Geometria AREAL. $R=3, N=3$

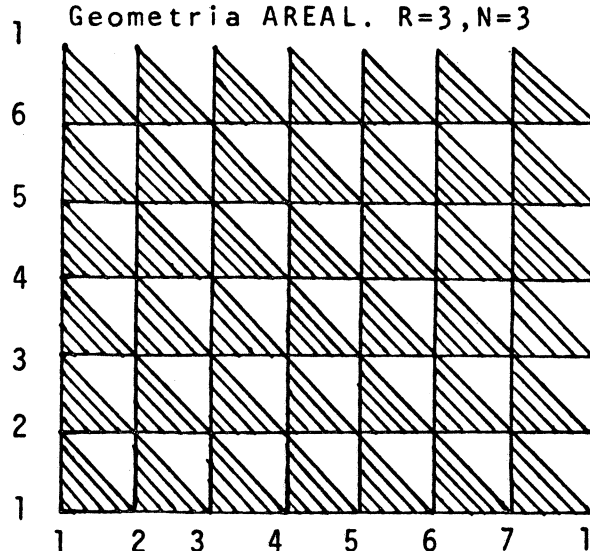
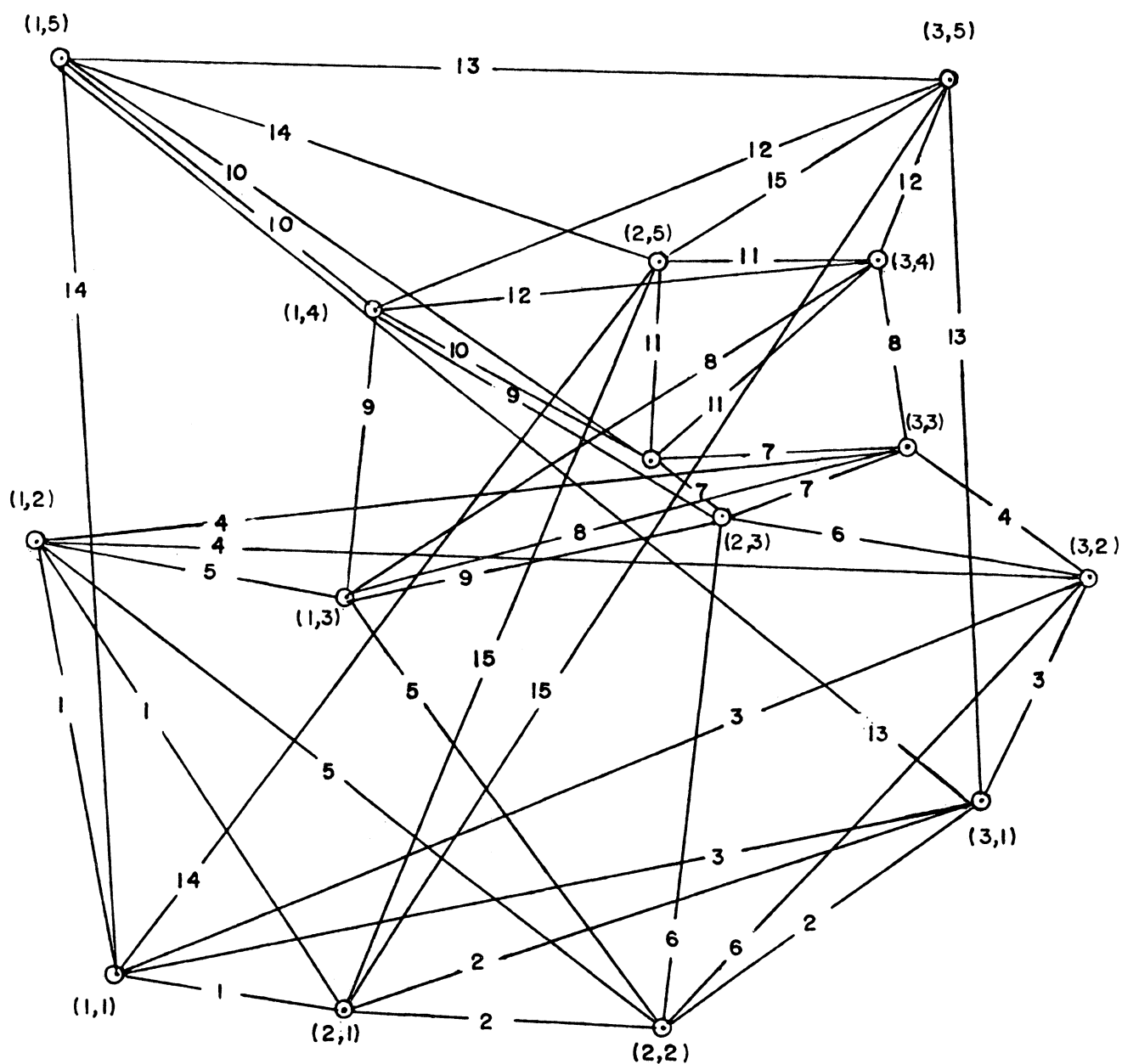


FIGURA 35 Rede gerada com algoritmo Areal
 3 receptores, 3 ocupações por ponto
 $m_1 = 3$, $m_2 = 5$



3.3.2.1 Caso em que $m_1 \text{ [mod 3]} = m_2 \text{ [mod 3]} = 0$
 $R = 3$, $n = 2$

Sendo m_1 e m_2 múltiplos de 3 , teremos que cada ponto será ocupado exatamente 3 vezes através da utilização do algoritmo apresentado no diagrama de blocos da fig. 36 , onde os 3 receptores, numa sessão qualquer, serão instalados nos pontos (i, j) ; $(i+1, j)$ e $(i, j+1)$.

Na figura 37 mostra-se o desenho esquematizado das posições dos receptores em cada sessão, para uma rede de 36 pontos, $m_1 = m_2 = 6$, [10].

FIGURA 37 Esquema de observação para rede de 36 pontos (SNAY)
 $R=3$ $N=2$ $m_1 \text{ (mod 3)} = m_2 \text{ (mod 3)} = 0$ $m_1 = m_2 = 6$

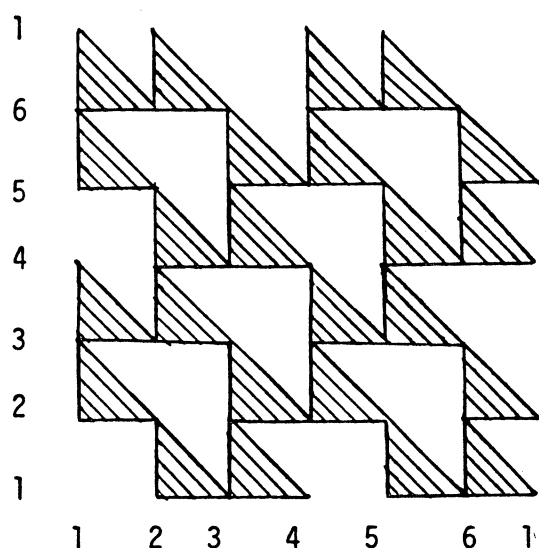
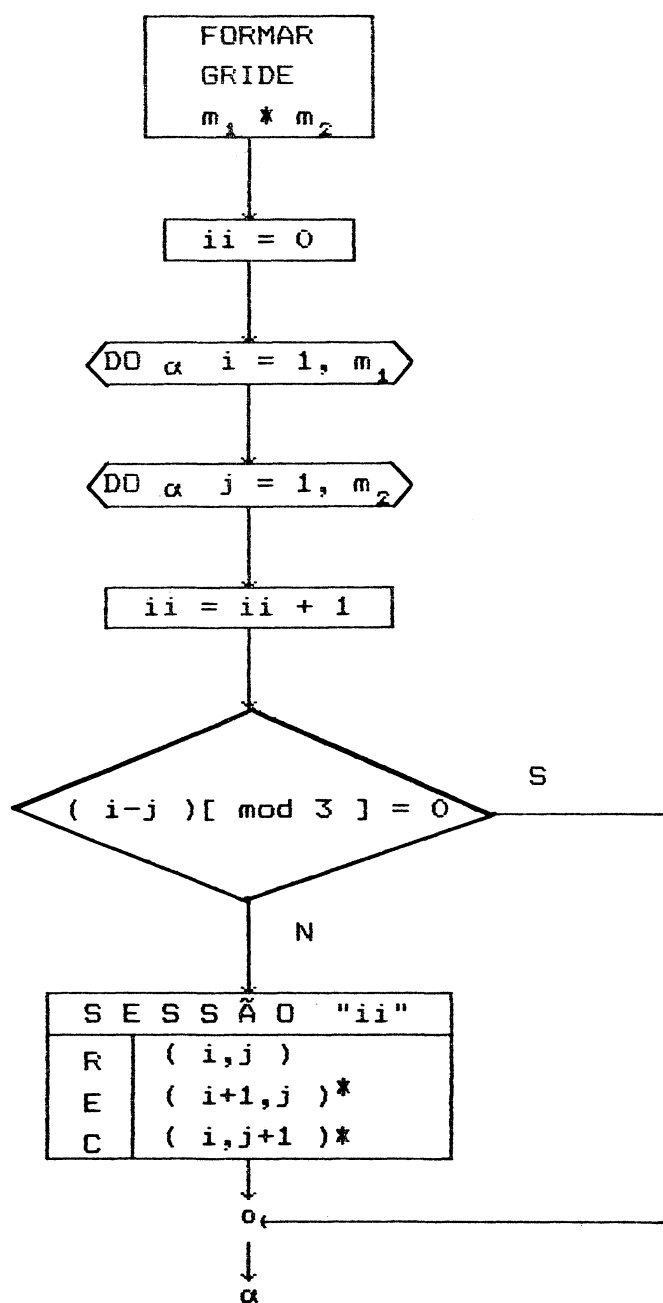


Fig. 36 Rede de $m_1 * m_2$ pontos com geometria AREAL .
 3 receptores e 2 ocupações por ponto. Caso em que :
 $m_1 \text{ [mod 3]} = m_2 \text{ [mod 3]} = 0$



3.3.2.2 Caso em que $m \pmod 3 \neq 0$, $R = 3$, $n = 2$

Se m_1 ou m_2 não fossem múltiplos de três, utilizando o algoritmo apresentado no item 3.3.2.1 ter-se-ia que a maioria dos pontos serão ocupados duas vezes, mas alguns pontos das bordas (isto é, pontos em que $i = 1$ ou $i = m_1$, $j = 1$ ou $j = m_2$) serão ocupados somente uma vez, entretanto outros sofrerão três ocupações. Assim, para que todos os pontos tenham duas ocupações é necessário fazer pequenas mudanças no algoritmo anterior. Estas variações são mostradas no diagrama de blocos da fig. 38 onde estão considerados os casos em que

- a) $m_1 \pmod 3 = 0$ e $m_2 \pmod 3 = 1$
- b) $m_1 \pmod 3 = 0$ e $m_2 \pmod 3 = 2$

A fig. 39 [10] mostra o esquema de observação gerado para o caso de uma rede de 42 pontos com $m_1 = 6$ e $m_2 = 7$, isto é, $m_1 \pmod 3 = 0$ e $m_2 \pmod 3 = 1$.

FIGURA 39 Esquema de observação para rede de 42 pontos (SNAY)
 $R=3$, $N=2$ $m_1 \pmod 3 = 0$; $m_2 \pmod 3 = 1$ $m_1=6$ $m_2=7$

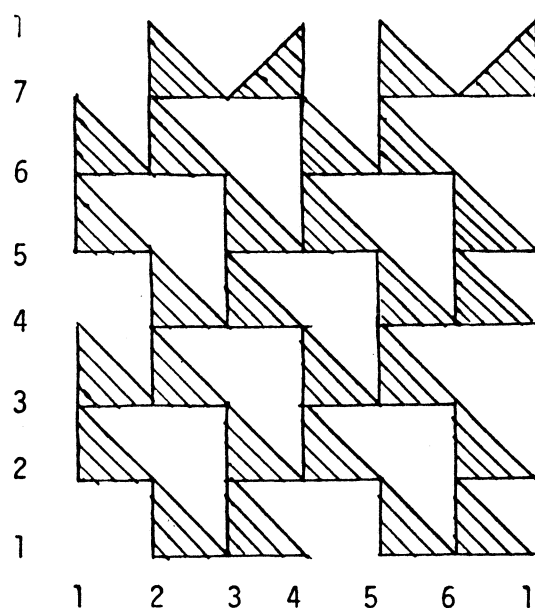
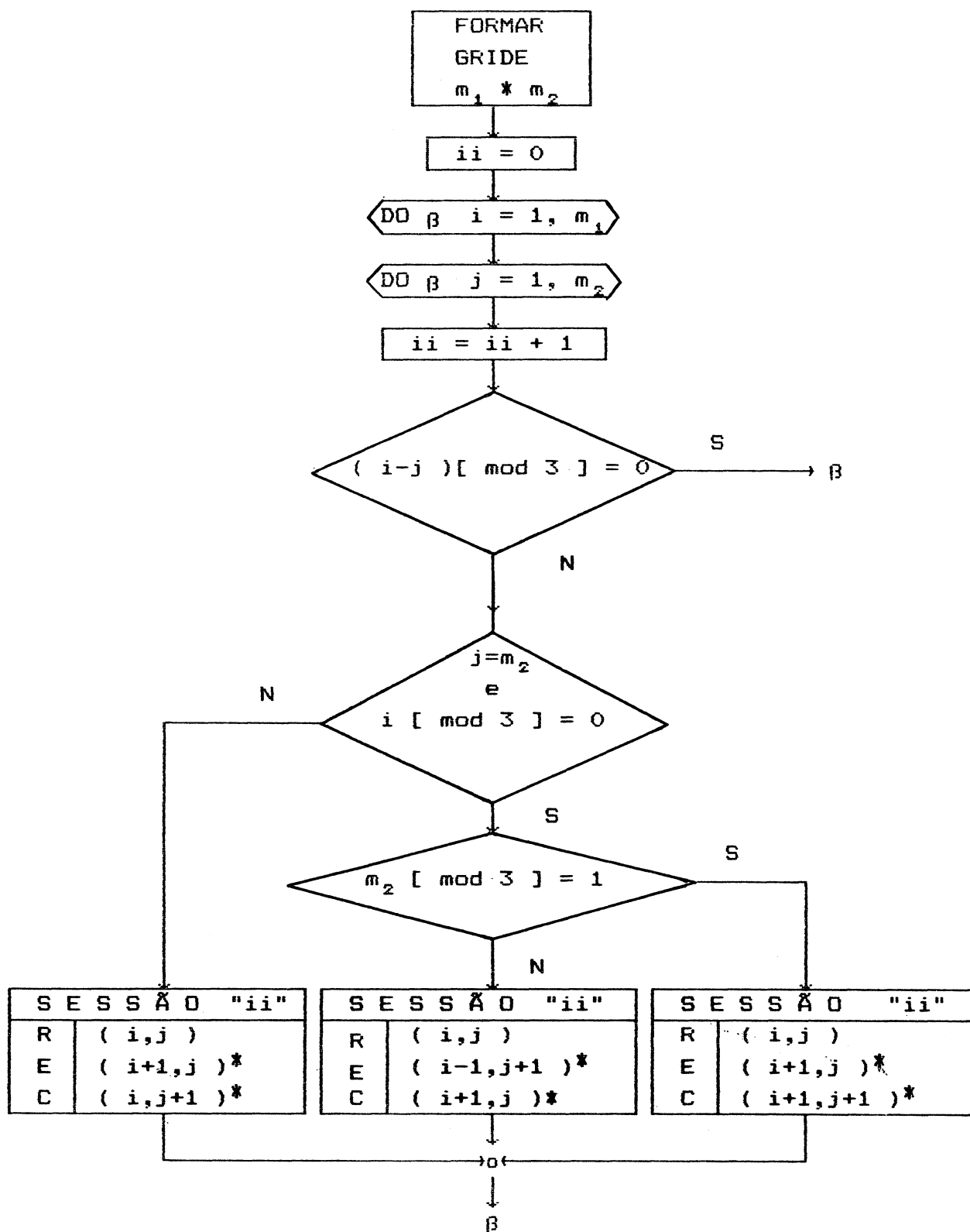


Fig. 38 Rede de $m_1 * m_2$ pontos com geometria AREAL.
 3 receptores e 2 ocupações por ponto. Caso em que :
 $m_1 \text{ [mod 3]} = 0$ e $m_2 \text{ [mod 3]} \neq 0$.



A fig. 40 mostra o esquema de observação gerado para o caso de uma rede de 48 pontos com $m_1 = 6$ e $m_2 = 8$ isto é

$$m_1 \text{ [mod 3]} = 0 \quad \text{e} \quad m_2 \text{ [mod 3]} = 2$$

FIGURA 40 Esquema de observação para rede de 48 pontos

$$m_1=6; m_2=8 \quad R=3 \quad N=2$$

$$m_1(\text{mod}3)=0 \quad m_2(\text{mod}3)=2$$

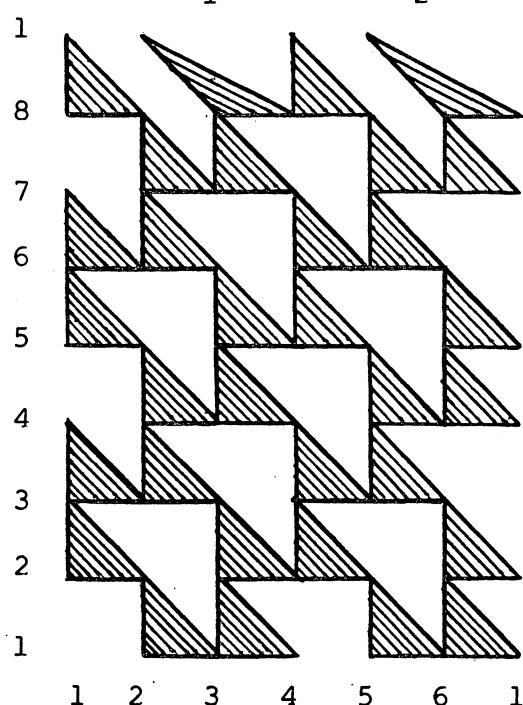
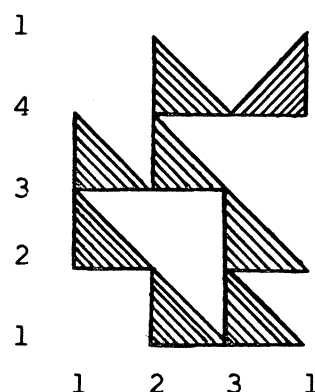


FIGURA 41 Esquema de observação para rede de 12 pontos.

$$m_1=3; m_2=4 \quad R=3 \quad N=2$$

$$m_1(\text{mod}3)=0$$

$$m_2(\text{mod}3)=1$$



O algoritmo correspondente ao caso a) tem sido aplicado à Rede de Recife (fig. 9) formada por 12 pontos. Assim, a figura 41 mostra um desenho esquematizado das posições dos receptores em cada sessão. Por outra parte, a fig. 42 apresenta as ligações resultantes para esta rede.

Para o caso do tipo b) o algoritmo tem sido aplicado à Rede Metropolitana de Curitiba (fig. 7) formada por 15 pontos. Na fig. 43 pode-se observar o desenho que indica as posições dos receptores em cada sessão; já a fig. 44 mostra a rede com as ligações resultantes.

FIGURA 42 Rede gerada com algoritmo Areal
 3 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m_1(\text{mod } 3)=0$, $m_2(\text{mod } 3)=1$
 $m_1=3$, $m_2=4$

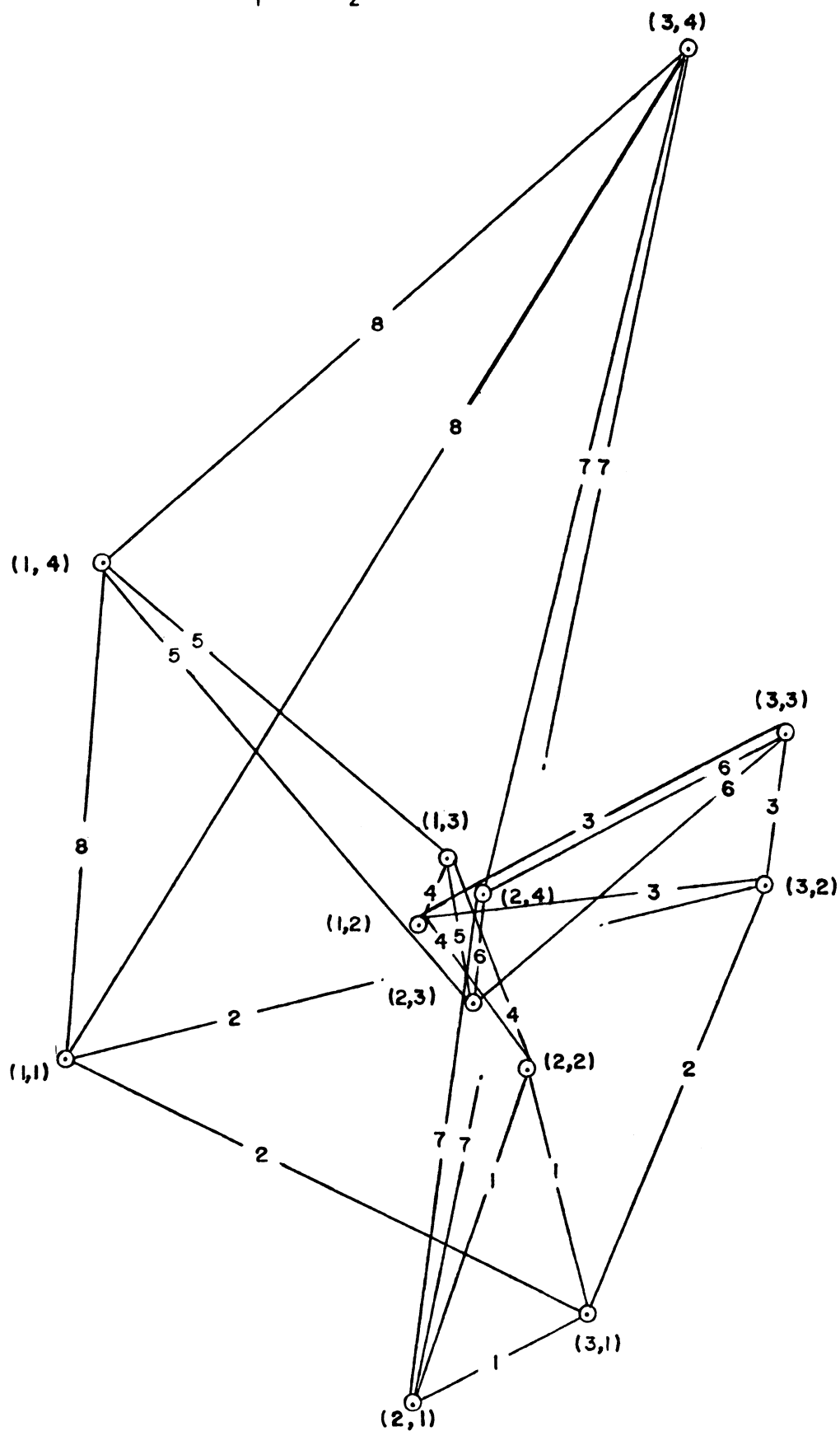


FIGURA 44 Rede gerada com algoritmo Areal
 3 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m_1=3$, $m_2=5$ $m_1 \pmod{3}=0$, $m_2 \pmod{3}=2$

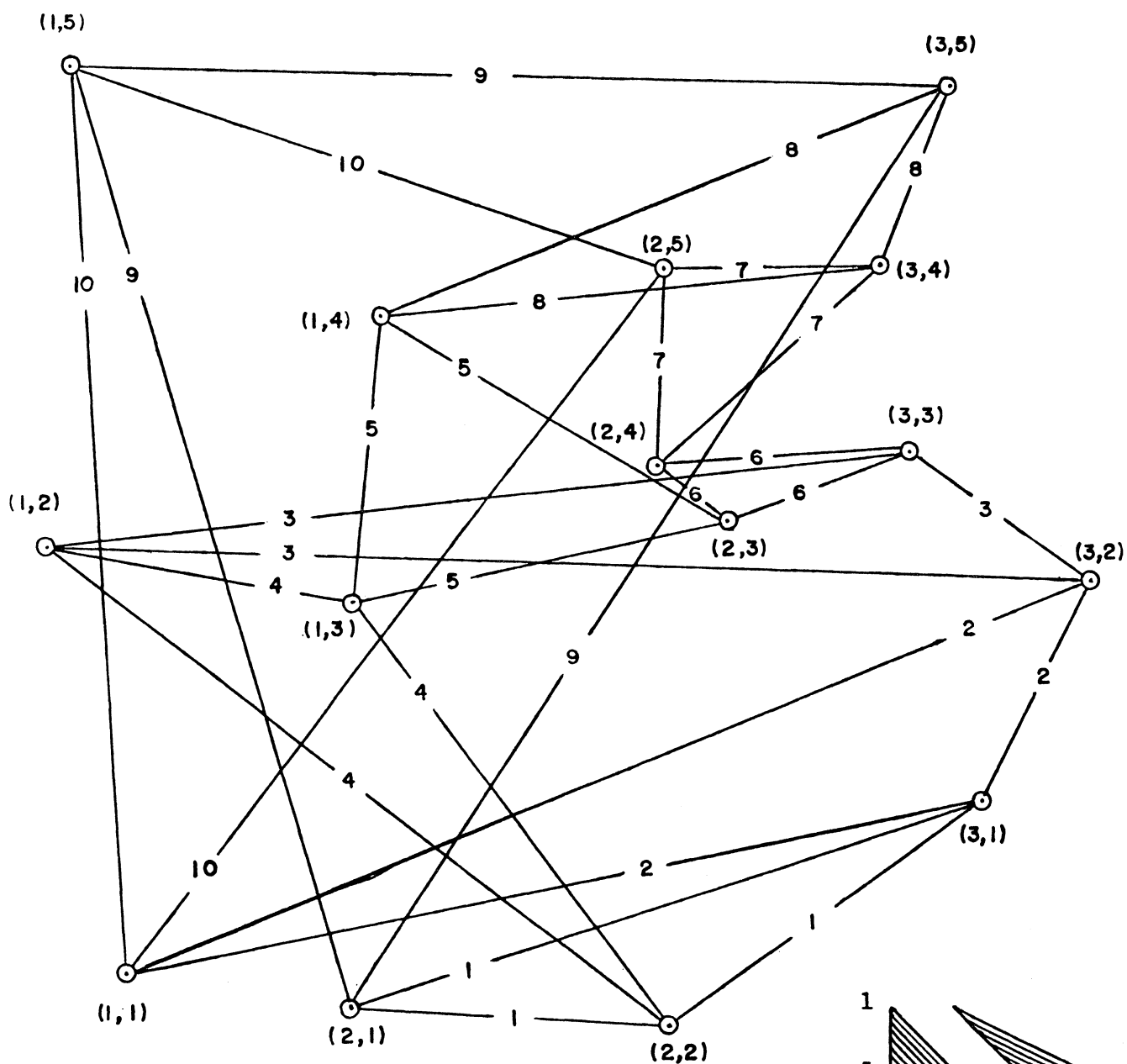
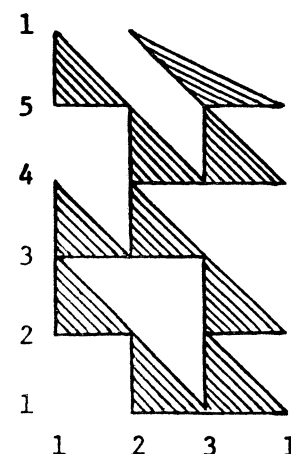


FIGURA 43 Esquema de observação para rede de 15 pontos

$$m_1 = 3 \quad m_2 = 5 \quad R = 3 \quad N = 2$$

$$m_1 \pmod{3} = 0 \quad m_2 \pmod{3} = 2$$



3.3.3 Estratégia para Rede com geometria Areal, considerando 4 receptores e 3 ocupações por ponto.

Será feita uma sessão de observação por cada valor de (i, j) tal que

a) j seja par e $i \bmod 4 = L$ com $L = 0, 1, 3$
ou

b) j seja ímpar e $i \bmod 4 = L$ com $L = 1, 2, 3$
onde

$$i = 1, 2, \dots, m_1 \quad \text{e} \quad j = 1, 2, \dots, m_2$$

Os pontos sobre os quais devem ser instalados os 4 receptores são definidos conforme aparece indicado no diagrama de blocos da fig. 45.

Na fig. 46 apresenta-se um desenho esquematizando as posições que os receptores terão em cada sessão, considerando o caso de uma rede de 64 pontos [10].

Observe-se que nos casos em que $m_1 \bmod 4 \neq 4$ ou $m_2 \bmod 2 \neq 0$, nem todos os pontos serão ocupados duas vezes. Nestos casos, alguns pontos terão duas ocupações enquanto outros terão quatro. Este problema pode ser melhorado alterando as posições dos rastreadores obtidas com este algoritmo, nas sessões de observação correspondentes aos pontos (i, j)

$$i = \begin{cases} m_1 - 1 \\ m_1 \end{cases} \quad \text{ou} \quad j = \begin{cases} m_2 - 1 \\ m_2 \end{cases}$$

3.3.4 Estratégia para Rede com geometria Areal, considerando 4 receptores e 2 ocupações por ponto

Será feita uma sessão de observação para cada valor de (i, j) tal que $(i-j) \bmod 2 = 0$. As posições que tomarão os receptores em cada sessão de observação são indicadas pelo diagrama de blocos da fig. 47.

É válido mencionar que no caso particular em que tanto m_1 quanto m_2 sejam ímpares, todos os pontos da Rede terão duas ocupações exceto o ponto $(1, 1)$ que terá quatro ocupações.

O desenho apresentado na fig. 48, representa o esquema de observação gerado por este algoritmo para uma rede de 36 pontos. Cada vértice do quadrado achurado, representa a posição de um receptor.

A fig. 49 apresenta as ligações resultantes ao aplicar este algoritmo à rede Metropolitana de Curitiba.

Fig. 45 Rede de $m_1 \times m_2$ pontos com geometria AREAL.
4 receptores e 3 ocupações por ponto.

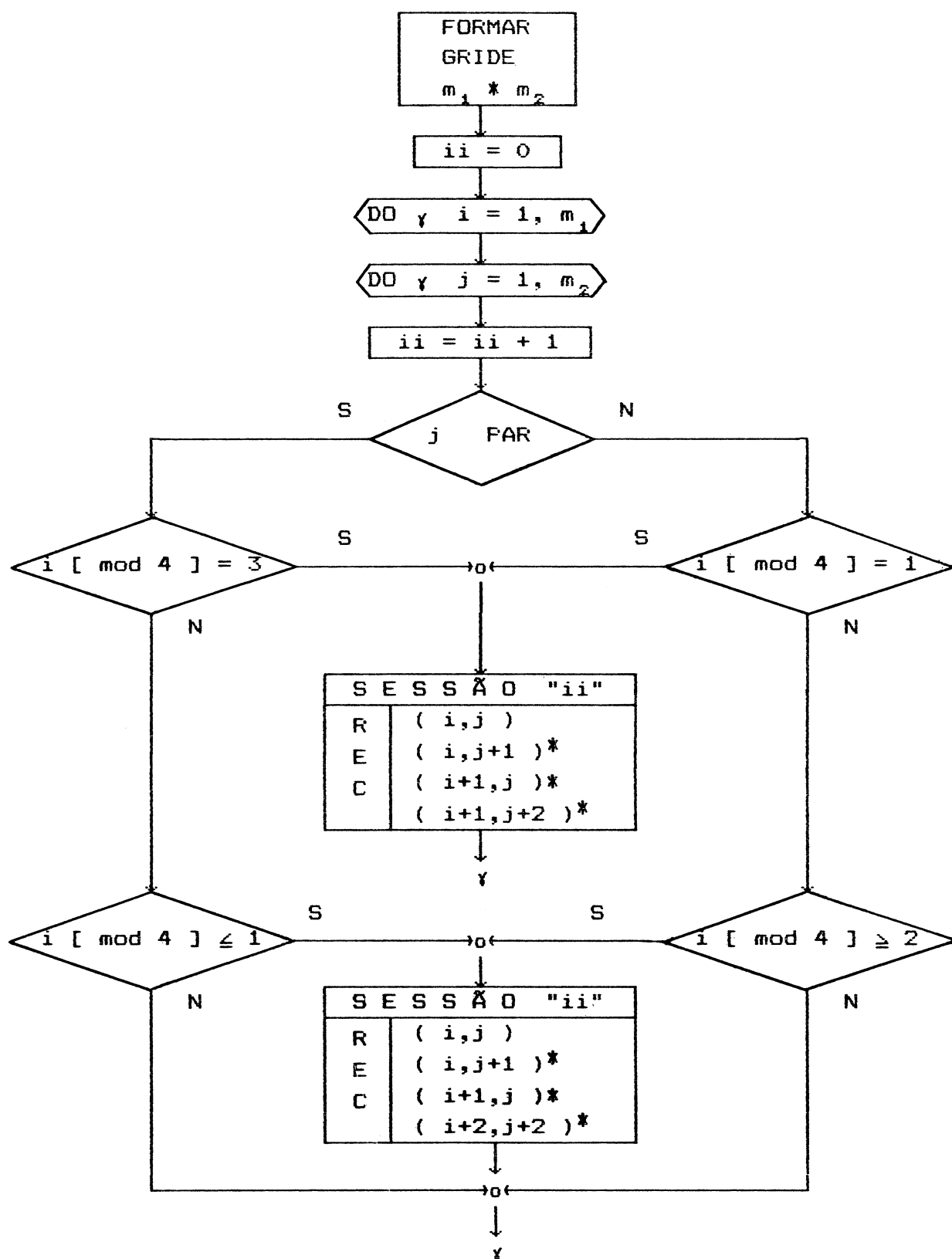


FIGURA 46 Esquema de observação para rede de 64 ptos.(SNAY)
4 receptores, 3 ocupações por ponto.

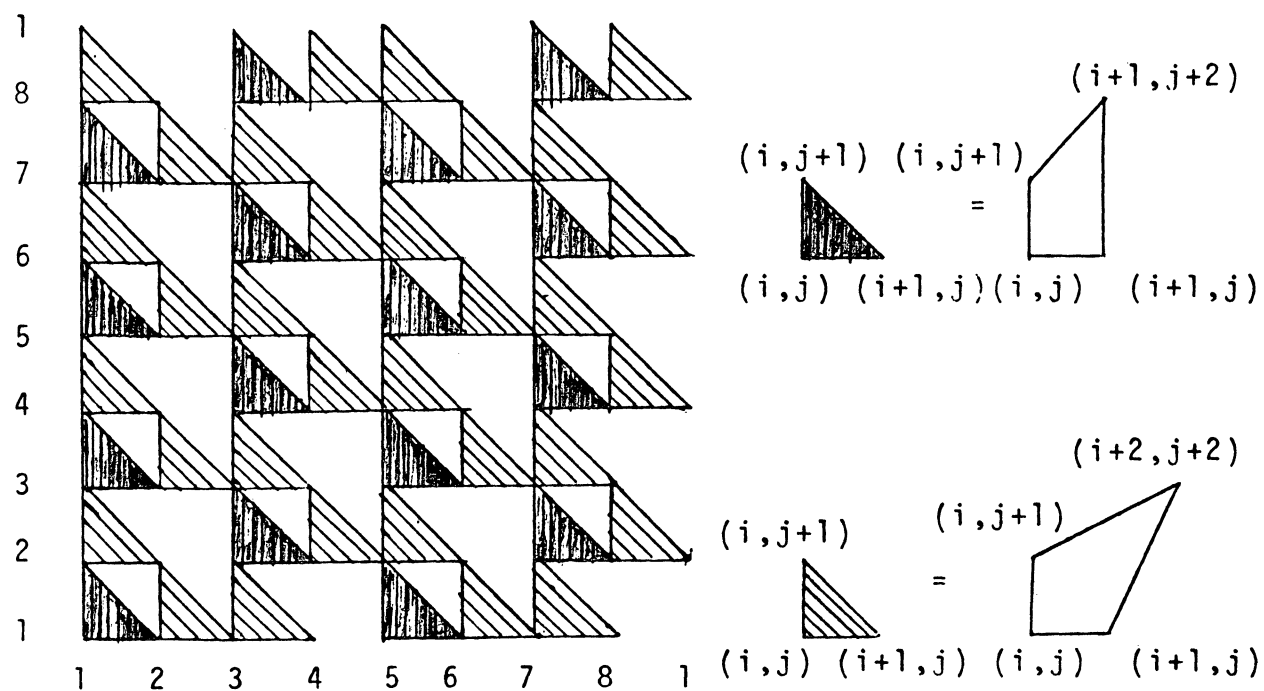


FIGURA 48 Esquema de observação para rede de 36 pontos.(SNAY)
4 receptores, 2 ocupações por ponto.

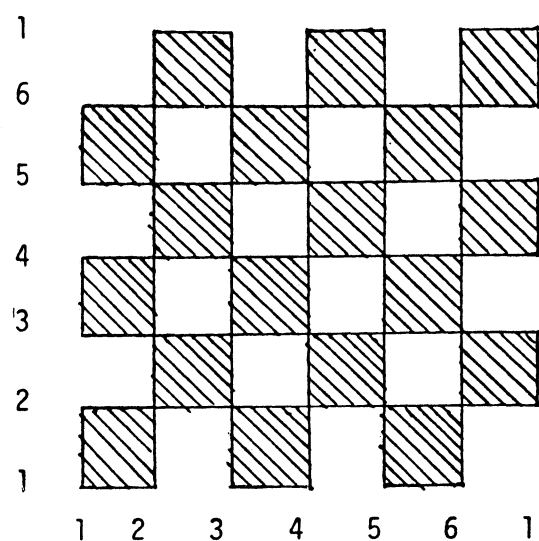


Fig. 47 Rede de $m_1 * m_2$ pontos, com geometria AREAL.
4 receptores e 2 ocupações por ponto.

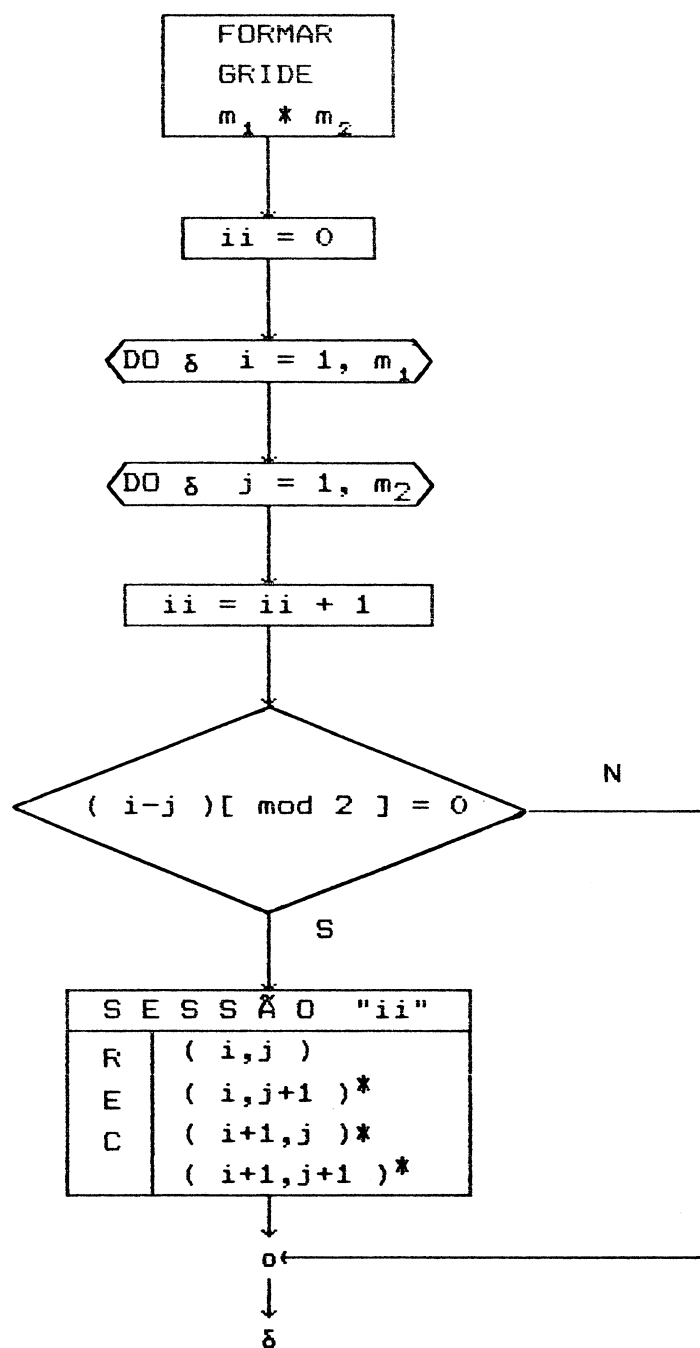
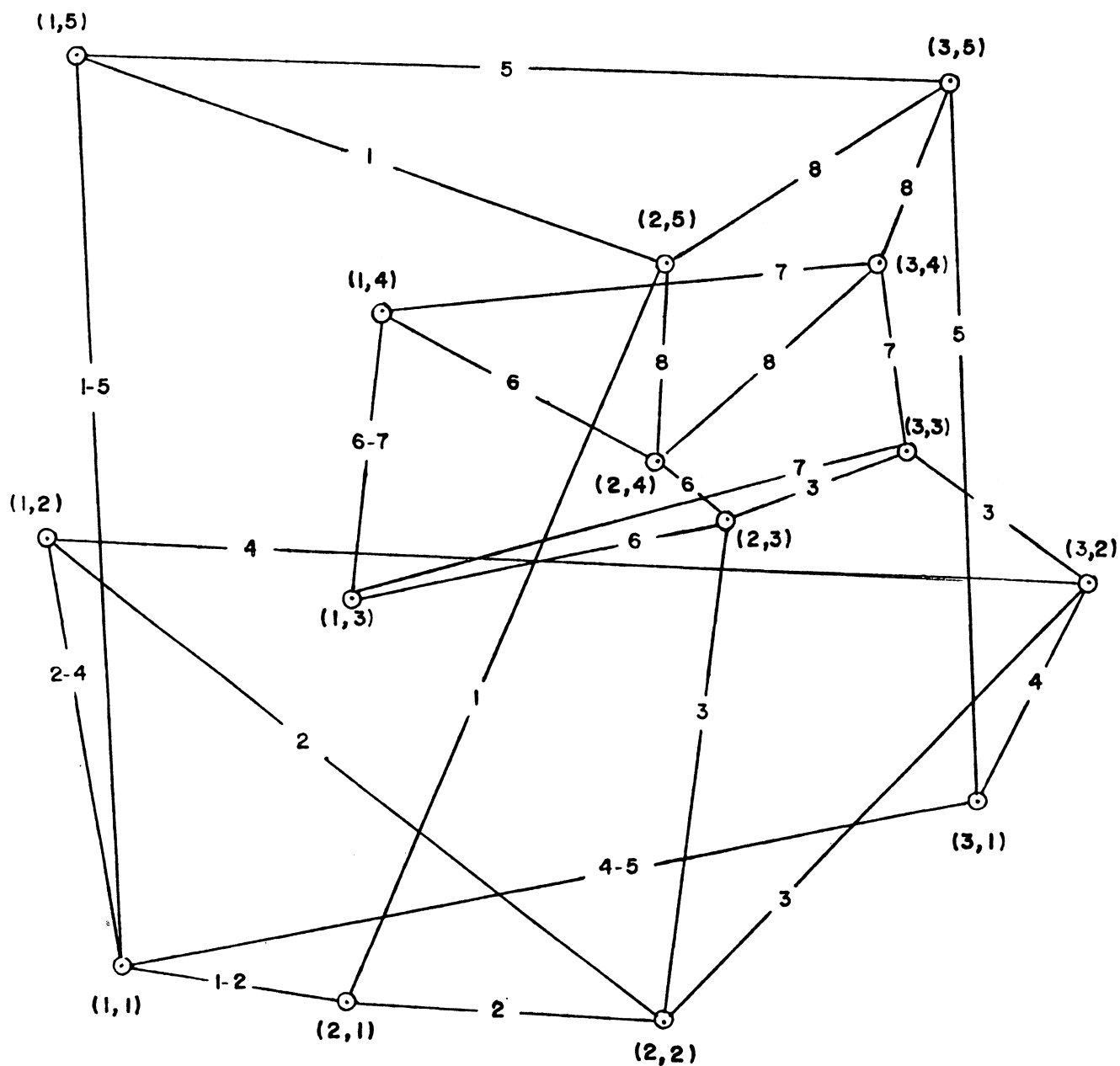


FIGURA 49 Rede gerada com algoritmo Areal
 4 receptores, 2 ocupações por ponto
 $m_1=3$ $m_2=5$



CAPÍTULO IV

4 LEVANTAMENTO DE UMA REDE GPS : APLICAÇÃO PRÁTICA

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma rede GPS com a intenção de mostrar dados e situações reais que aparecem na prática.

4.2 OBJETIVO DA REDE

O levantamento tinha como objetivo estabelecer uma rede de pontos de apoio para aerotriangulação.

4.3 ESTABELECIMENTO DA REDE

Para a definição dos pontos da rede, contava-se com fotografias aéreas da área de interesse, obtidas por um voo feito recentemente.

Foi predefinida (pela firma contratante) uma área aproximada de 300x300 metros onde deveria ser materializado cada ponto da rede, por tanto a escolha dos pontos ficou restrita às áreas pre-estabelecidas. Já o lugar definitivo de cada ponto obedeceu ao análise de outros parâmetros como obstruções, multicaminhos do sinal, acessibilidade, fotoidentificação, etc. A fig. 50 mostra um esquema com as posições aproximadas dos pontos pertencentes à rede.

4.4 JANELAS DE OBSERVAÇÃO

Para definir as janelas de observação, foram utilizados os programas que fornecem auxílio na etapa de planejamento. Assim, foi feita uma listagem contendo os valores de elevação e azimute que teria cada satélite no local para a data do levantamento. Estes valores foram calculados para intervalos de 15 minutos.

Os intervalos de tempo contendo um mínimo de 4 satélites com elevação acima de 15 graus, foram analisados em termos de geometria dos satélites com relação à estação. Assim, foram definidos três intervalos de tempo (janelas) a serem utilizados para realizar o levantamento. Veja tabela 5.

FIGURA 50 Esquema aproximado dos pontos da rede.

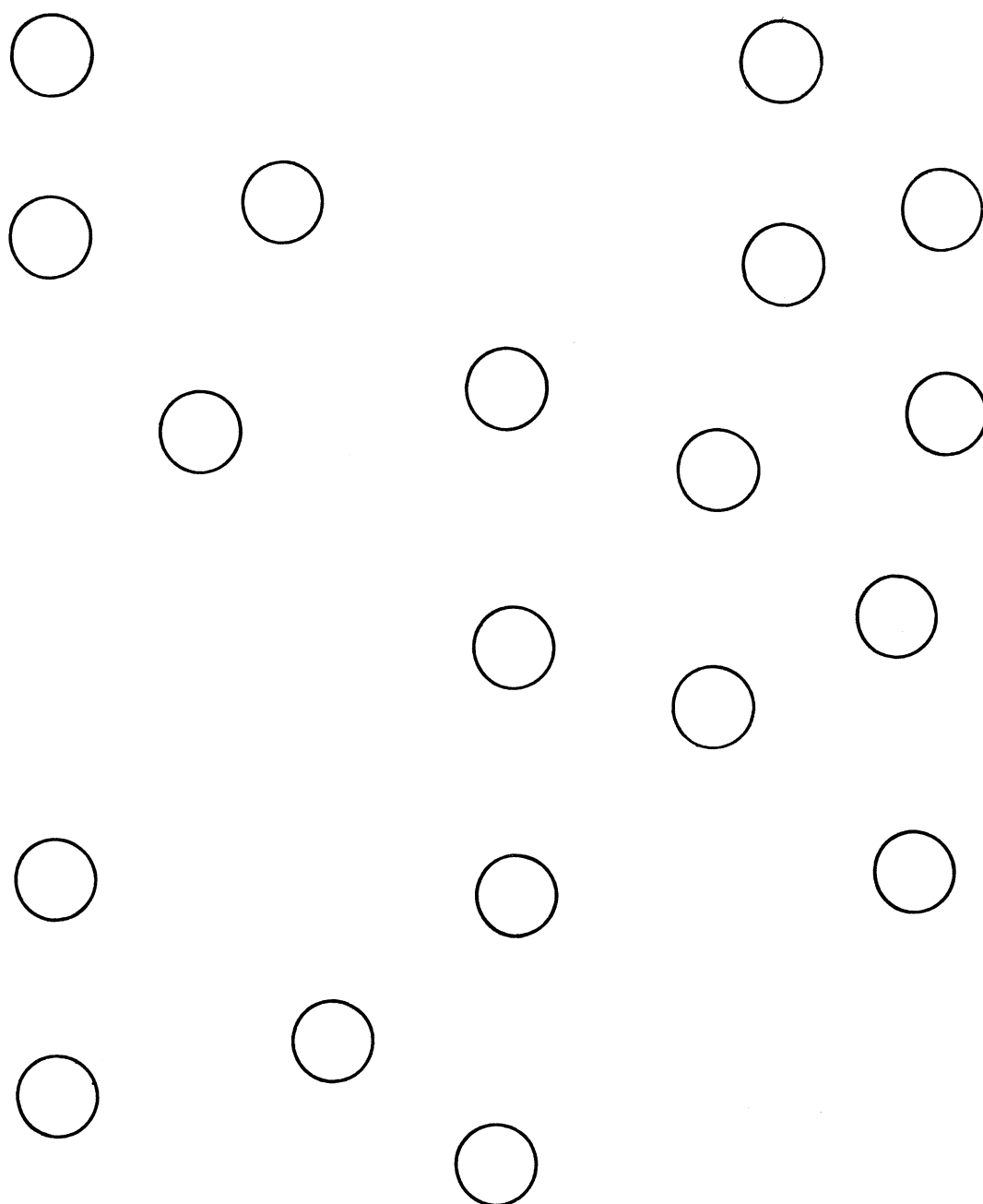


TABELA 5 Janelas de Observação

JANELA	HORA DESDE	LOCAL ATE	SATÉLITES UTILIZADOS
A	07:00	09:00	2- 6-16-18-19
B	15:00	17:00	3-12-16-17-20
C	19:00	20:40	3-17-21-23

4.5 ESQUEMAS DE OBSERVAÇÃO

Os esquemas de observação foram definidos de acordo com as seguintes diretrizes :

4.5.1 Número de sessões por dia

Como foi colocado no item 4.4, foram definidas três janelas de observação. Em princípio planejou-se fazer uma sessão para cada janela, isto é três sessões por dia. No primeiro dia de rastreo o satélite 23 ficou não operacional ("sem saúde"), impossibilitando utilizar a terceira janela que nestas condições ficou só com três satélites. Esta situação manteve-se até o dia 07 onde o satélite 23 voltou a ficar operacional. Por outra parte, nesse mesmo dia o satélite 16 ficou não operacional. Embora a segunda janela ficou com 4 satélites, estes apresentaram uma geometria não favorável para serem utilizados na determinação de coordenadas dos pontos da rede.

O satélite 16 ficou operacional novamente o dia 10. Assim, na prática, o levantamento da rede ficou restrito a duas sessões por dia.

4.5.2 Tempo de rastreo

No posicionamento relativo estático é necessário rastrear por um intervalo de tempo no mínimo de uma hora em cada ponto. Considerando que as janelas de observação constituíam-se por intervalos de tempo aproximadamente de duas horas (veja tabela 5), não era possível realizar o trajeto até as próximas estações e contar ainda com um mínimo de uma hora de janela disponível para rastrear neste novo ponto. Desta maneira, foi planejado utilizar a totalidade do tempo que as janelas ofereciam.

4.5.3 Escolha de satélites

Segundo a tabela 5 vemos que o número máximo de satélites nas janelas de observação é de cinco. Considerando que os receptores utilizados possuem a capacidade de rastrear até 12 satélites simultaneamente (12 canais independentes), não houve a necessidade de fazer escolha entre os satélites a serem rastreados.

4.6 DESENHO DA REDE

No capítulo terceiro foram apresentadas estratégias para dois tipos de geometria de Redes, isto é, geometria de Poligonal e geometria Areal. A seguir apresentam-se os desenhos da rede que seriam obtidos ao aplicar estes algoritmos, assim como também o desenho da rede adotado de acordo com as necessidades do levantamento.

4.6.1 Desenho com algoritmo de POLIGONAL

Como primeiro passo para a aplicação do algoritmo de Poligonal, foi realizada a numeração de cada ponto da rede, como indica a fig. 51 . Em seguida foi aplicado o algoritmo, considerando quatro receptores ($R = 4$) e duas ocupações por ponto ($N = 2$). A tabela 6 mostra o ponto da rede que deve ocupar cada receptor em cada uma das sessões. O desenho assim obtido, mostrando as ligações resultantes entre os pontos, apresenta-se na fig. 52 .

TABELA 6 Esquemas de observação gerados pelo algoritmo para 4 receptores e 3 ocupações por ponto.
Geometria de Poligonal

SESSÃO	R E C E P T O R E S							
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄				
	PONTO	PONTO	PONTO	PONTO				
1	↓	1	↓	2	↓	4	↓	5
2		3		4		6		7
3		5		6		8		9
4		7		8		10		11
5		9		10		12		13
6		11		12		14		15
7		13		14		16		17
8		15		16		18		19
9		17		18		20		1
10		19		20		2		3

FIGURA 51 Algoritmo de POLIGONAL. Numeração dos pontos da Rede.

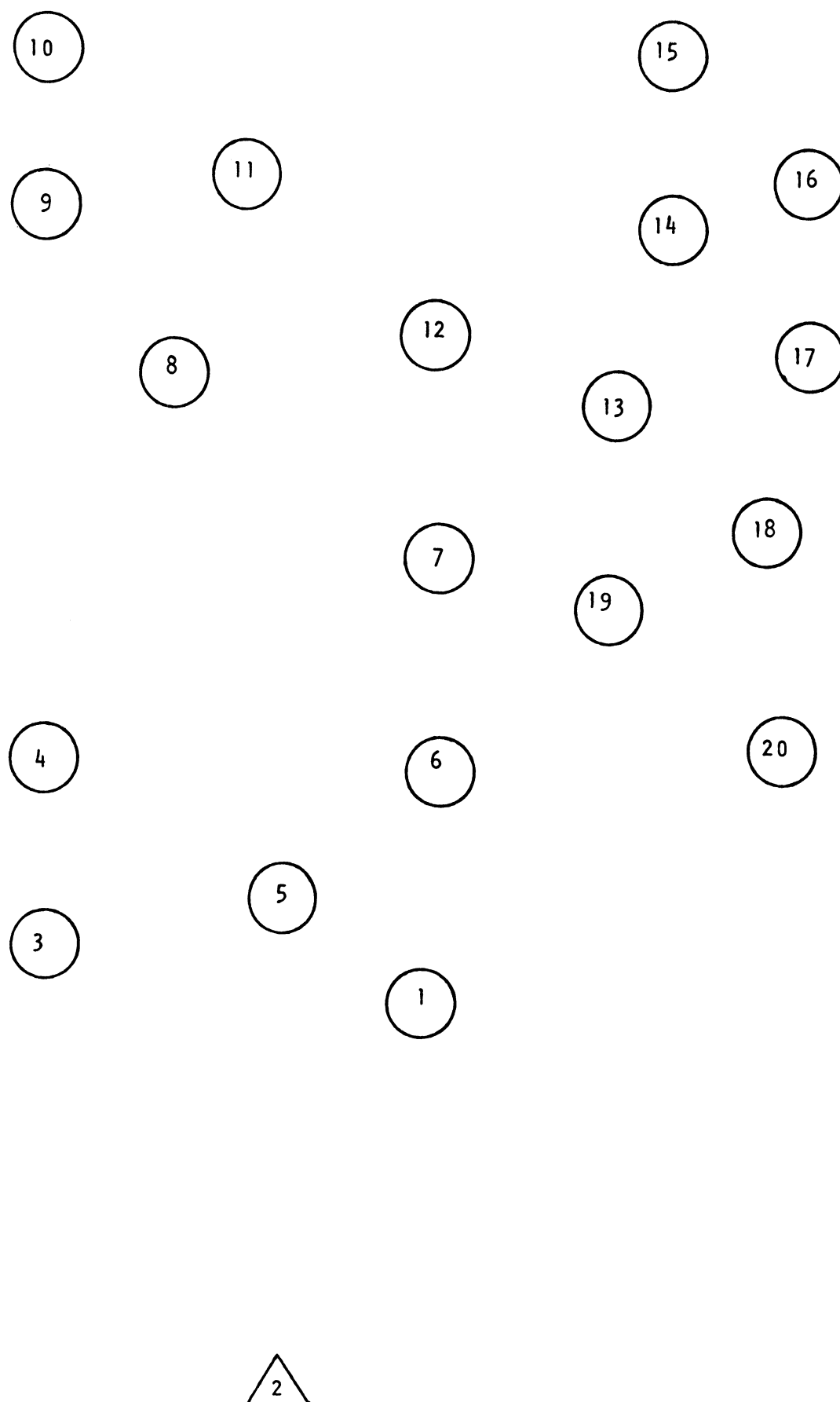
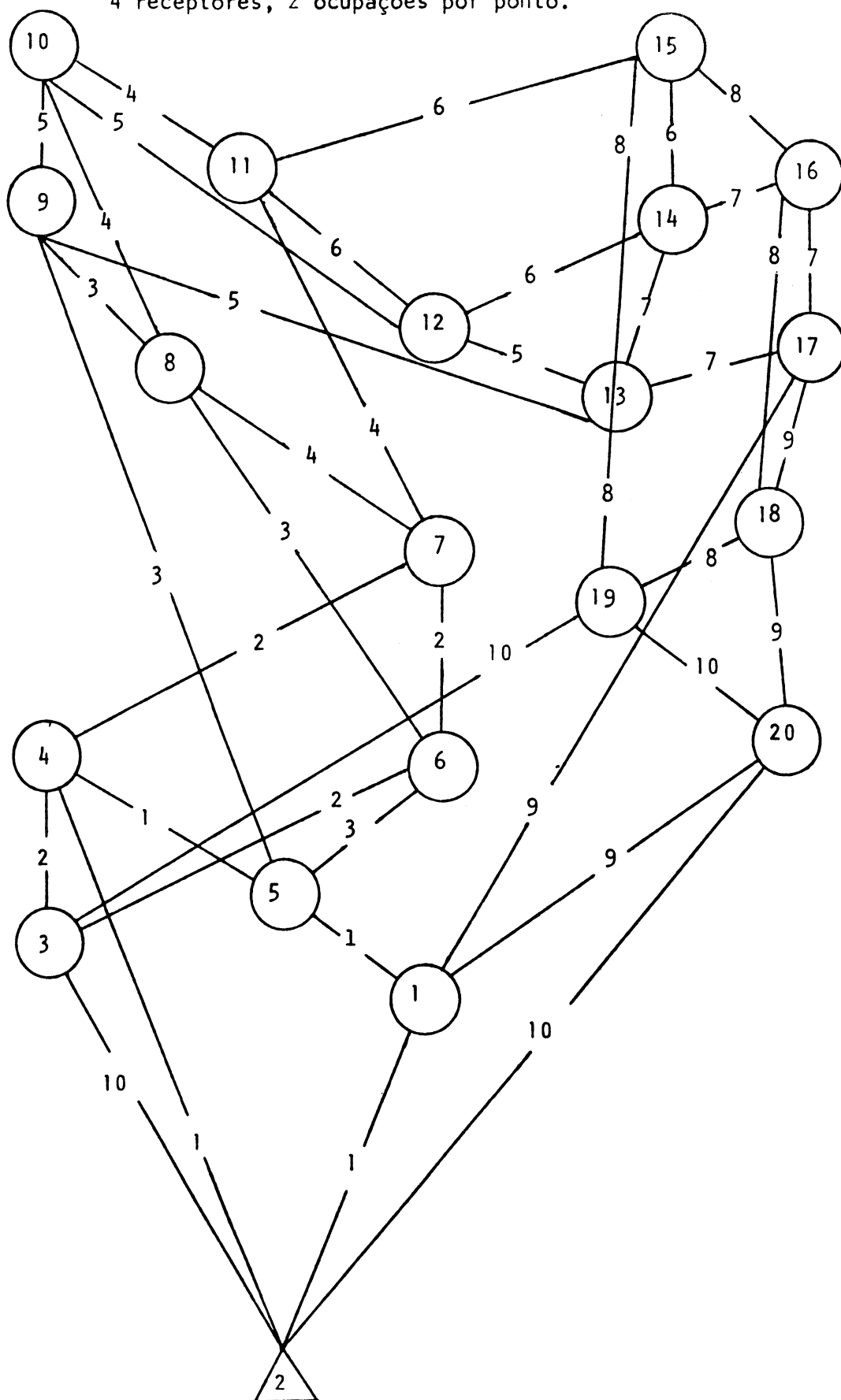


FIGURA 52 Rede gerada com algoritmo de POLIGONAL. $m=20$

4 receptores, 2 ocupações por ponto.



4.6.2 Desenho com algoritmo AREAL

Como foi mencionado no capítulo terceiro, para aplicar o algoritmo Areal numa rede, devemos referenciar bi-dimensionalmente cada ponto, definindo desta maneira uma matriz de m_1 coluna por m_2 linhas, contendo $m_1 * m_2$ pontos. A fig. 53 mostra a matriz definida para a rede com 4 colunas ($m_1 = 4$) e 5 linhas ($m_2 = 5$). Com algoritmo Areal, considerando 4 receptores e duas ocupações por ponto, obteve-se a rede da fig. 54.

4.6.3 Desenho adotado

Sendo o objetivo da rede determinar pontos de apoio para aerotriangulação, não é necessário que os todos os pontos sejam levantados duas vezes; por outra parte, o algoritmo AREAL faz com que pontos extremos da rede sejam ocupados simultaneamente; esta característica cria uma dificuldade para realizar estas ligações em forma direta, considerando que só tinha-se disponível uma viatura para se locomover, e os pontos são de difícil acesso. Assim, Considerando tanto o objetivo de rede quanto a logística, as ligações adotadas entre os pontos da rede assim como também entre as sessões, não obedeceram estritamente aos algoritmos apresentados.

Com a finalidade de se contar com vários caminhos alternativos para a determinação das coordenadas de qualquer ponto da rede, assim como para se ter a possibilidade de verificar a confiabilidade das observações, foi estabelecido que em cada sessão, dos 4 pontos ocupados (4 receptores), dois deles fossem comuns a outra sessão. Desta forma ter-se-ia uma linha de base comum entre duas sessões.

Os esquemas de observação foram planejados de maneira que os quatro pontos ocupados por sessão fossem os mais próximos possíveis; para evitar gasto de tempo e combustível em traslado de um ponto a outro. A figura 55 mostra as ligações entre os pontos da rede que foram realizadas na data e janela correspondente. Assim temos que as linhas indicadas como "5.A" por exemplo, foram as bases observadas o dia 05 de Janeiro e foi utilizada a janela "A" definida no quadro do item 4.4.

4.7 LIGAÇÃO DA REDE GPS COM MARCO DE 1ª ORDEM

O posicionamento relativo fornece como resultado diferenças de coordenadas. Para calcular as coordenadas dos pontos da rede no sistema geodésico brasileiro, foi necessário fazer a ligação com um marco pertencente à Rede de Triangulação Brasileira de 1ª ordem. Assim, foi ocupado o marco "13 DE MAIO" e feito o transporte de coordenadas para os pontos da rede. Na

FIGURA 53 Matriz definida para a Rede de 20 pontos

$$m_1=4 \quad m_2=5$$

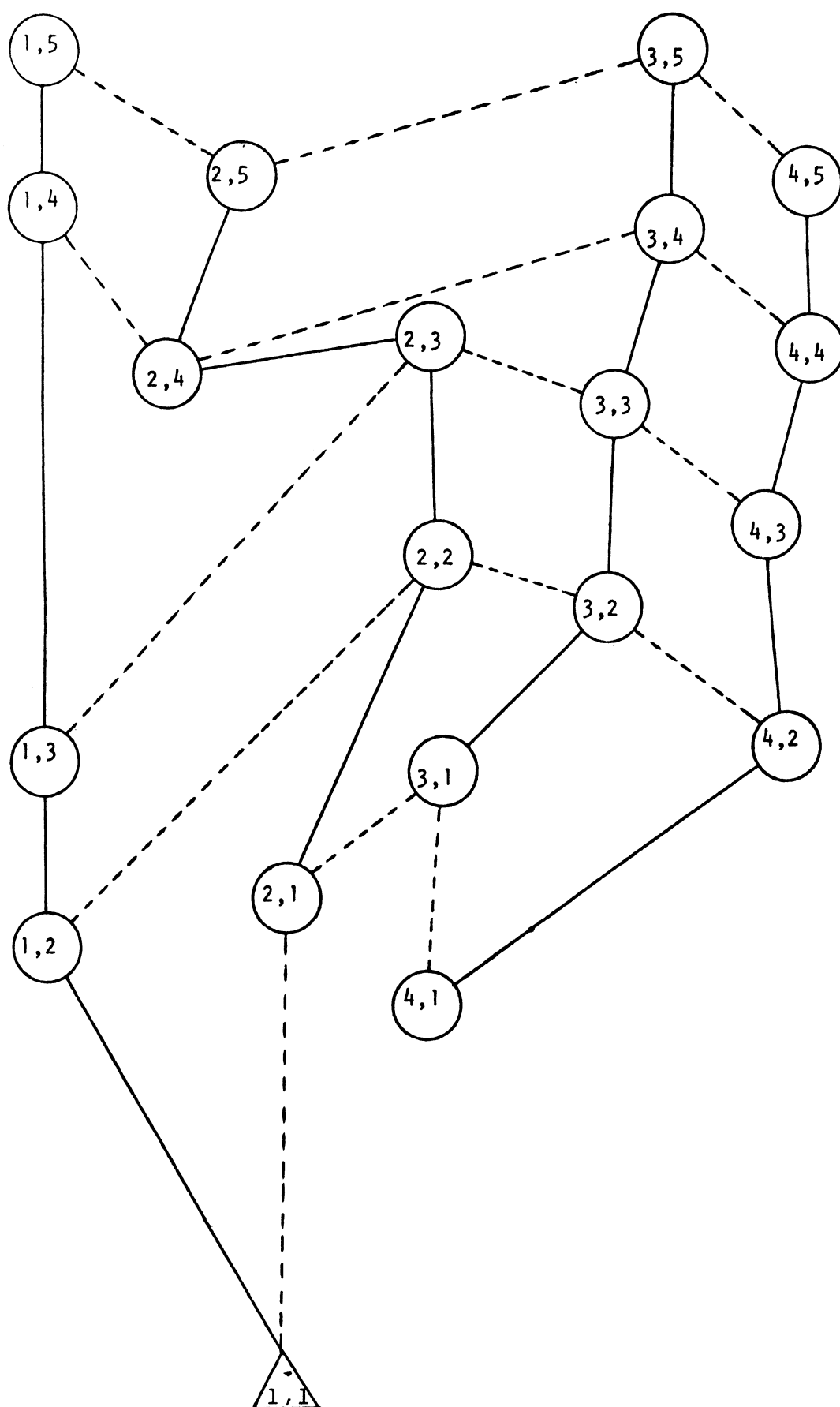


FIGURA 54 Rede gerada com algoritmo AREAL

4 receptores, 2 ocupações por ponto.

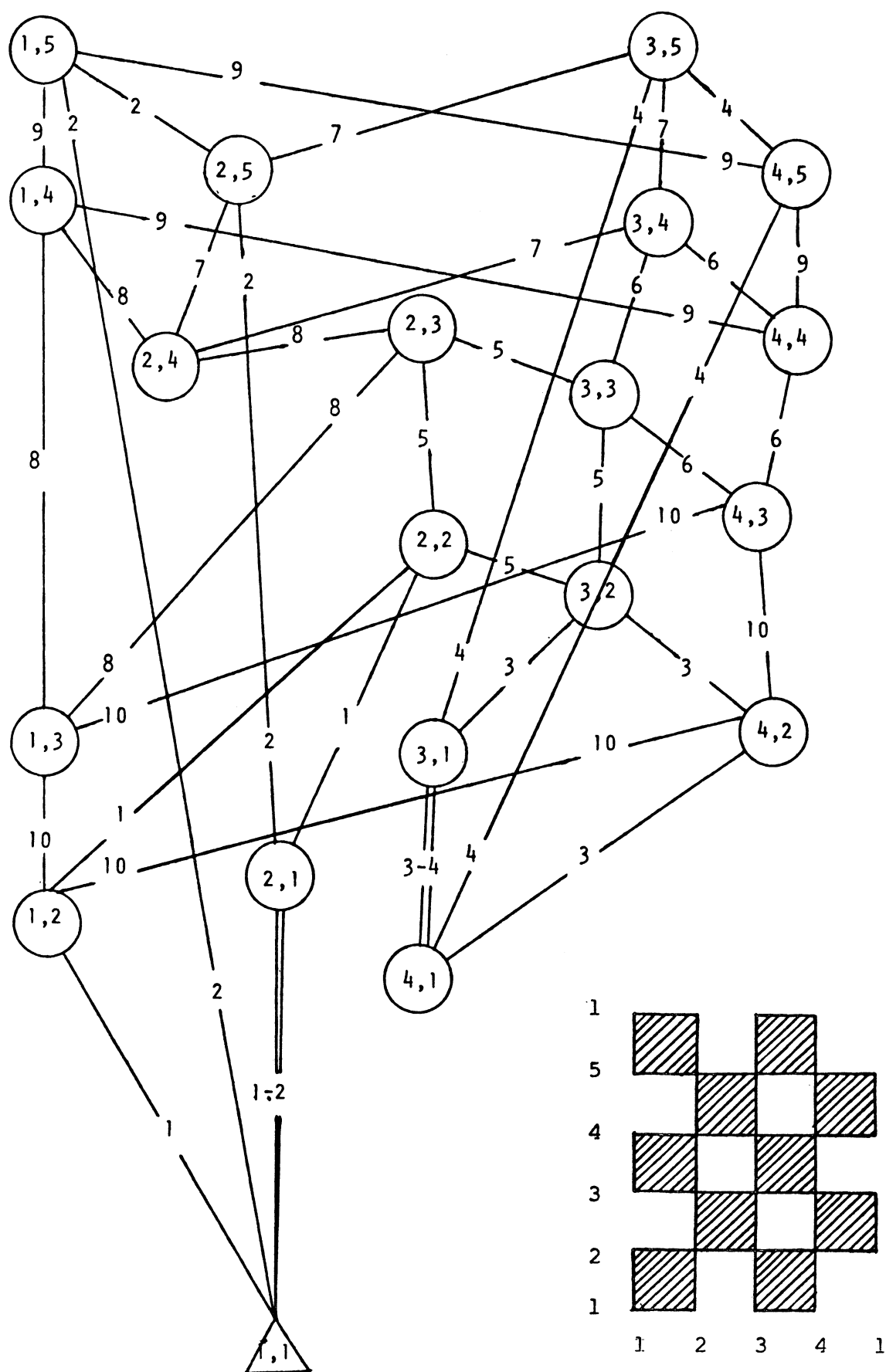


FIGURA 55 Desenho adotado para a Rede

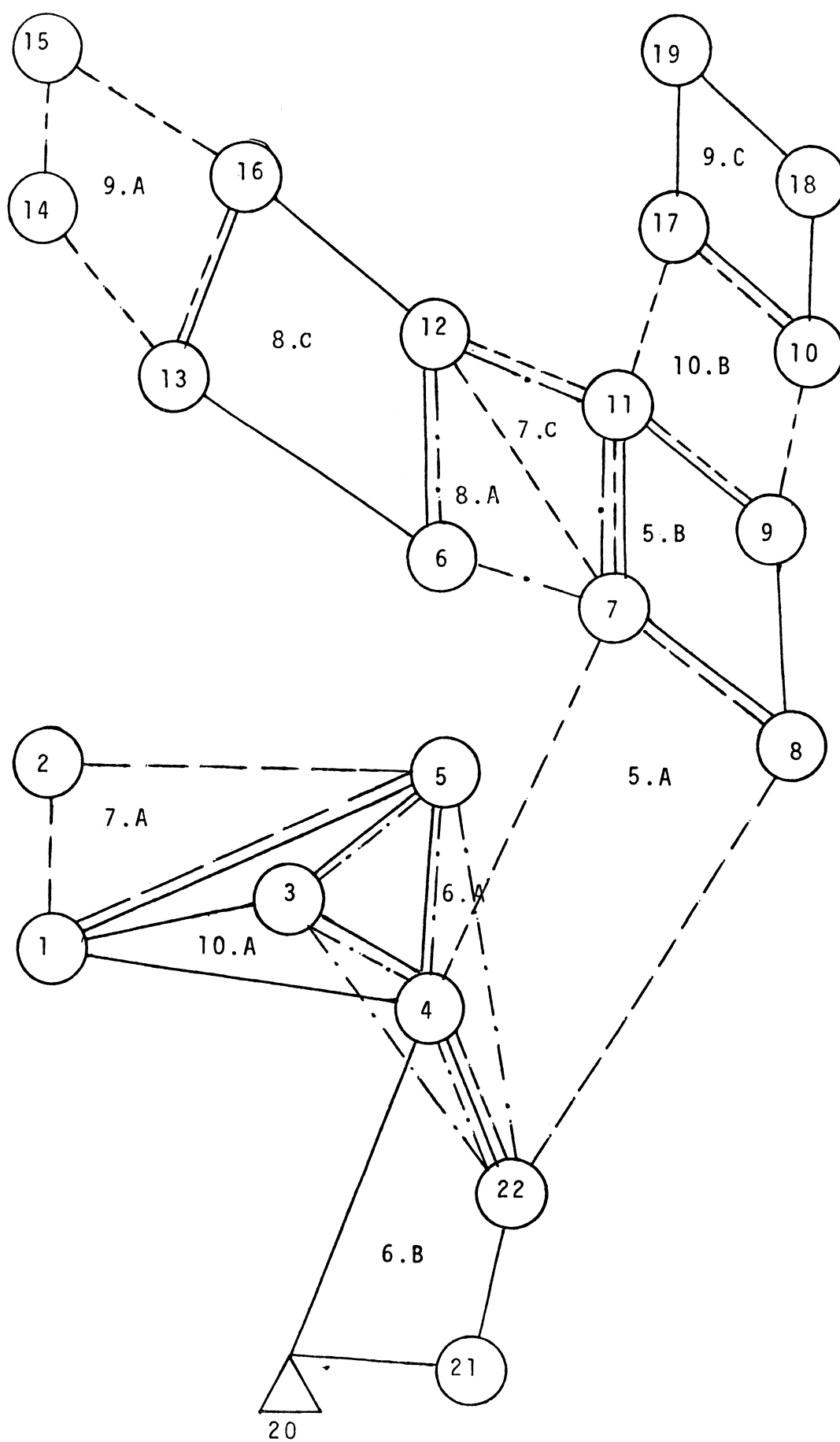


figura 55 , este marco está representado pelo Nº 20. Os pontos Nº 21 e 22 são pontos intermediários na ligação da rede de pontos de apoio com o marco de primeira ordem; estes pontos de finem caminhos alternativos para efetuar esta ligação.

4.8 RESULTADOS

As observações foram processadas com o sistema de programas que a firma ASHTECH fornece junto com seus receptores. Na tabela 7 apresenta-se o resultado obtido nas diversas linhas de base levantadas em cada sessão de observação. Foi incluída a distância (truncada na segunda casa decimal), para se ter uma idéia do comprimento das linhas.

Os resultados deste processamento, são diferenças de coordenadas, sendo estas ajustadas posteriormente através de um programa de ajustamento de redes.

TABELA 7 Resultados do processamento de cada sessão.

DATA SESSÃO	LINHA BASE	DIST. km	DIFERENÇAS DE COORDENADAS (m)		
			Δx	Δy	Δz
5. A	4 → 7	2.47	1163.2233	1812.1898	-1220.2051
	7 → 22	5.15	-4278.1718	-1914.9033	-2152.3228
	7 → 8	1.71	- 826.2004	373.6847	-1459.8166
	4 → 22	4.59	-3114.9487	- 102.7131	-3372.5272
	4 → 8	3.47	337.0247	2185.8729	-2680.0223
	22 → 8	4.20	3451.9723	2288.5871	692.5061
5. B	7 → 11	2.50	1961.3238	1557.5790	33.7679
	9 → 11	2.52	1933.6133	352.8807	1578.1882
	7 → 9	1.95	27.7094	1204.7000	-1544.4192
	7 → 8	1.71	- 826.2165	373.6732	-1459.8197
	8 → 11	3.37	2787.5401	1183.9074	1493.5881
	8 → 9	1.19	853.9267	831.0258	- 84.5999
6. A	4 → 22	4.59	-3114.9598	- 102.7055	-3372.5288
	5 → 22	5.19	-3921.7163	- 864.5210	-3289.4594
	3 → 5	1.85	- 5.0840	1005.6792	-1560.0253
	3 → 22	6.24	-3926.8005	141.1583	-4849.4845
	4 → 5	1.11	806.7570	761.8151	- 83.0702
	4 → 3	1.70	811.8406	- 243.8633	1476.9560
6. B	20 → 4	17.20	14006.2051	9716.8809	2316.1745
	20 → 21	6.48	4928.7595	4212.2126	261.8631
	21 → 4	10.81	9077.4476	5504.6652	2054.3067
	20 → 22	14.56	10891.1870	9614.1652	-1056.2877
	22 → 4	4.59	3114.9282	102.6881	3372.4922
	21 → 22	8.15	5962.4500	5401.9917	-1318.1415

continuação da TABELA 7

7. A	5 → 2	3.35	891.7122	-1295.4658	2962.2715
	2 → 1	1.20	- 912.2031	- 784.1221	51.7231
	5 → 1	3.66	- 20.4897	-2079.5895	3013.9943
7. C	11 → 12	1.32	480.1480	- 395.3297	1165.4743
	12 → 7	2.95	-2441.4904	-1162.2632	-1199.2398
	11 → 7	2.50	-1961.3420	-1557.5931	- 33.7662
8. A	12 → 6	1.66	-1261.8615	-1082.1692	142.9910
	12 → 7	2.95	-2441.4912	-1162.2904	-1199.2228
	7 → 6	1.78	1179.6300	80.1205	1342.2132
	11 → 12	1.32	480.1519	- 395.3195	1165.4762
	11 → 7	2.50	-1961.3394	-1557.6097	- 33.7467
	11 → 6	2.12	- 781.7094	-1477.4891	1308.4666
8. C	16 → 13	1.64	-1167.9865	-1125.9262	286.9726
	6 → 13	2.21	1772.3355	453.4584	1252.3765
	6 → 16	3.47	2940.3225	1579.3860	965.4054
	12 → 13	1.61	510.4431	- 628.6984	1395.3311
	12 → 6	1.66	-1261.8941	-1082.1568	142.9539
	12 → 16	2.07	1678.4294	497.2272	1108.3571
9. A	14 → 15	1.86	1556.5376	950.8628	398.3002
	13 → 14	1.67	1328.7843	390.8482	940.0813
	16 → 13	1.64	-1167.9504	-1125.9494	286.9437
	13 → 15	3.45	2885.3222	1341.7099	1338.3807
	16 → 15	2.37	1717.3714	215.7617	1625.3248
	16 → 14	1.43	160.8339	- 735.1013	1227.0248
9. C	17 → 10	2.13	-1654.4075	- 397.2009	-1288.9296
	17 → 19	2.06	1462.4670	1438.6291	238.1811
	19 → 18	2.62	-1954.3408	- 950.7703	-1465.9448
	18 → 10	1.46	-1162.5374	- 885.0615	- 61.1694
	19 → 10	3.92	-3116.8782	-1835.8278	-1527.1097
	17 → 18	1.40	- 491.8760	487.8591	-1227.7638
10 A	3 → 1	1.80	- 25.5827	-1073.8843	1453.9867
	4 → 5	1.11	806.7385	761.8124	- 83.0838
	3 → 5	1.85	- 5.1031	1005.6792	-1560.0289
	5 → 1	3.66	- 20.4788	-2079.5652	3014.0139
	4 → 1	3.30	786.2593	-1317.7526	2930.9302
	4 → 3	1.70	811.8422	- 243.868	1476.9440
10 B	9 → 10	1.57	1012.1285	1093.0031	- 500.3415
	11 → 17	1.56	732.8887	1137.2911	- 789.6166
	10 → 11	2.39	921.5206	- 740.0916	2078.5295
	10 → 17	2.13	1654.4085	397.2009	1288.9130
	9 → 17	3.15	2666.5367	1490.2042	788.5718
	9 → 11	2.52	1933.6480	352.9130	1578.1883

4.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.9.1 Detecção de erros grosseiros

Através da análise do fechamento de triângulos formados em cada sessão, pode-se detectar se ocorreu algum erro grosseiro na determinação de alguma linha de base. Na tabela 8 apresenta-se o quadro com os valores para cada sessão. A primeira coluna identifica o dia (do mes de Janeiro) em que foi realizada a sessão e a janela de observação utilizada. Na segunda coluna se define o triângulo através dos números dos vértices, e na terceira o seu perímetro correspondente. A quarta coluna representa o erro de fechamento (dx,dy, dz) em cada componente (x, y, z), obtido pela somatoria vetorial dos lados do triângulo. A quinta coluna "d" representa o erro total cometido, isto é

$$d = \sqrt{d^2_x + d^2_y + d^2_z}$$

A última coluna representa a razão entre o erro de fechamento "d" e o perímetro do triângulo isto é, um erro relativo. Este apresenta-se em partes por milhão (ppm). Por ser un circuito fechado, o somatório vetorial dos lados do triângulo deveria ser zero.

TABELA 8 Fechamentos de triângulos : lados da mesma sessão

DATA. SESSÃO	TRIÂNGULO	PERÍME- TRO km.	ERRO DE FECHAMENTO (cm)				ppm
			dx	dy	dz	d	
5.A	4- 7-22	12.22	0.02	0.04	0.07	0.08	0.1
	4-22- 8	12.27	0.11	0.11	0.12	0.20	0.2
	4- 7- 8	7.67	0.18	0.16	0.06	0.24	0.3
	7-22- 8	11.07	0.09	0.09	0.01	0.13	0.1
5.B	7- 9-11	6.98	0.11	0.17	0.11	0.23	0.3
	7- 8- 9	4.87	0.08	0.10	0.04	0.13	0.3
	7- 8-11	7.60	0.02	0.16	0.05	0.17	0.2
	8- 9-11	7.09	0.01	0.01	0.02	0.09	0.1

Continuação da TABELA 8

DATA. SESSÃO	TRIÂNGULO	PERÍME- TRO km.	ERRO DE FECHAMENTO (cm)				ppm
			dx	dy	dz	d	
6.A	4- 3- 5	4.67	0.04	0.08	0.09	0.09	0.2
	4- 3-22	12.54	0.01	0.05	0.03	0.06	0.0
	4- 5-22	10.90	0.05	0.04	0.08	0.10	0.1
	3- 5-22	13.29	0.02	0.01	0.02	0.03	0.0
6.B	20-21- 4	34.50	0.20	0.31	0.47	0.59	0.2
	20-21-22	29.21	2.25	3.91	0.93	4.60	1.2
	20-22- 4	36.36	8.99	2.76	3.00	9.87	2.7
	21-22- 4	23.56	6.94	1.46	4.40	8.34	3.5
7.A	5- 2- 1	8.22	0.12	0.16	0.03	0.20	0.2
7.C	11-12- 7	6.78	0.04	0.02	0.07	0.08	0.1
8.A	11-12- 6	5.11	0.02	0.04	0.06	0.07	0.1
	11-12- 7	6.78	0.01	0.02	0.01	0.02	0.0
	11- 7- 6	6.41	0.00	0.01	0.01	0.01	0.0
	12- 7- 6	6.41	0.03	0.07	0.06	0.10	0.2
8.C	12-16-13	5.33	0.02	0.06	0.14	0.15	0.3
	12- 6-13	4.93	0.17	0.00	0.07	0.18	0.4
	12- 6-16	7.21	0.01	0.02	0.22	0.22	0.3
	6-16-13	7.34	0.05	0.14	0.15	0.21	0.3
9.A	16-13-14	4.76	0.00	0.01	0.02	0.02	0.0
	16-14-15	5.68	0.01	0.02	0.02	0.03	0.1
	16-13-15	7.47	0.04	0.12	0.04	0.13	0.2
	13-14-15	6.99	0.03	0.11	0.08	0.14	0.2
9.C	17-19-18	6.10	0.22	0.03	0.01	0.22	0.4
	17-19-10	8.13	0.37	0.22	0.10	0.44	0.5
	17-18-10	5.01	0.59	0.15	0.36	0.71	1.4
	19-18-10	8.01	0.00	0.40	0.45	0.60	0.7
10.A	4- 3- 5	4.67	0.06	0.12	0.11	0.17	0.4
	4- 3- 1	6.18	0.02	0.03	0.05	0.06	0.1
	4- 5- 1	8.08	0.04	0.02	0.01	0.05	0.1
	3- 5- 1	7.32	0.08	0.17	0.17	0.25	0.3
10.B	9-10-11	6.48	0.11	0.15	0.03	0.19	0.3
	9-10-17	6.86	0.03	0.02	0.03	0.04	0.0
	9-11-17	7.24	0.00	0.01	0.01	0.01	0.0
	10-11-17	6.09	0.08	0.14	0.01	0.16	0.3

4.9.2 Repetibilidade de linhas de base

O fato de observar e determinar uma linha de base em mais que uma oportunidade, além de dar uma idéia da consistência interna da rede GPS, possibilita a detecção de erros grosseiros que através da análise do erro de fechamento de circuitos fechados (como triângulos, por exemplo) não ficam em evidência quando as linhas que o compoem pertencem a uma mesma sessão de rastreo, isto é, foram observadas em forma simultanea.

A seguir, apresentam-se as tabelas 9 e 10 com um resumo das bases observadas mais de uma vez. Na primeira coluna aparece a base identificada pelos pontos extremos que a definem. Na segunda coluna mostra a data em que foi observada nas duas oportunidades, assim como também as janelas que foram utilizadas em cada ocasião. Na coluna seguinte a distância da base é expressa em quilómetros; em seguida aparecem as diferenças dx, dy, dz encontradas entre as componentes x, y e z obtidas nas duas oportunidades. Junto a estas diferenças apresenta-se a distância "d", representando a diferença total achada entre as duas observações onde

$$d = \sqrt{d^2_x + d^2_y + d^2_z}$$

Por último, tem-se o valor do erro relativo expresso em partes por milhão (ppm).

TABELA 9 Repetibilidade de bases : duas ocupações

BASE	DATA.JANELA		DIST. (km)	DIFERENÇAS (cm)				PPM TOTAL
	obs.1	obs.2		dx	dy	dz	d	
5-4	6.A	10.A	1.11	1.85	0.27	1.36	2.3	20.7
5-3	6.A	10.A	1.85	1.91	0.00	0.36	1.9	10.3
4-3	6.A	10.A	1.70	0.16	0.47	0.12	0.5	2.9
5-1	7.A	10.A	3.66	1.09	2.43	1.96	3.3	9.0
8-7	5.A	5.B	1.71	1.61	1.15	0.31	2.0	11.7
11-9	5.B	10.B	2.52	3.47	3.23	0.01	4.7	18.6
12-11	7.C	8.A	1.32	0.39	1.02	0.19	4.9	37.1
12-7	7.C	8.A	2.95	0.08	2.72	1.70	3.2	10.8
12-6	8.A	8.C	1.66	3.26	1.24	3.71	5.1	30.7
16-13	8.C	9.A	1.64	3.61	2.32	2.89	5.2	31.7
17-10	9.C	10.B	2.13	0.10	0.00	1.66	1.7	8.0

Continuação da TABELA 11

TRIÂN- GULO	LADO DIA	PERÍME- TRO km.	ERRO DE FECHAMENTO (cm)				ppm
			dx	dy	dz	d	
7- 8-11	7→ 8 5.A 8→11 5.B 11→7 8.A	7.60	0.03	1.76	2.48	3.04	4.0
4- 3-22	4→ 3 10.A 3→22 6.A 22→4 5.A	12.54	0.96	0.34	1.33	1.67	1.3
4- 5-22	4→ 5 10.A 5→22 6.A 22→4 5.A	10.90	2.91	0.45	1.60	3.35	3.1
11-12- 7	11→12 8.A 12→7 7.C 7→11 5.B	6.78	1.47	0.37	0.43	1.57	2.3
11-12- 6	11→12 7.C 12→6 8.C 6→11 8.A	5.11	3.67	0.26	3.84	5.31	10.3
12- 7- 6	12→7 7.C 7→6 8.A 6→12 8.C	6.41	3.37	1.41	1.95	4.14	6.5
4- 5- 1	4→5 6.A 5→1 7.A 1→4 10.A	8.08	0.80	2.18	0.61	2.40	3.0
3- 5- 1	3→5 6.A 5→1 7.A 1→3 10.A	7.32	0.90	2.60	1.77	3.27	4.5

TABELA 12 Fechamento de quadriláteros : lados independentes

QUADRI LÁTERO	LADO DIA	PERÍME TRO km.	ERRO DE FECHAMENTO (cm)				ppm
			dx	dy	dz	d	
4→7→ 8→22	4→7 5.A 7→8 5.B 8→22 5.A 22→4 6.A	12.98	0.57	1.86	0.21	1.95	1.5
7→8→ 9→11	7→8 5.A 8→9 5.B 9→11 10.B 11→7 7.C	7.94	3.23	3.04	0.56	4.47	5.6
7→8→ 9→11	7→8 5.A 8→9 5.B 9→11 10.B 11→7 8.A	7.94	3.49	1.38	2.51	4.51	5.7
9→10→ 17→11	9→10 10.B 10→17 9.C 17→11 10.B 11→9 5.B	7.79	3.40	3.22	1.65	4.96	6.37
7→11→ 12→6	7→11 5.B 11→12 7.C 12→6 8.C 6→7 8.A	7.28	5.23	2.80	1.71	6.17	8.47
6→12→ 16→13	6→12 8.A 12→16 8.C 16→13 9.A 13→6 8.C	7.60	0.50	1.14	6.67	6.79	8.93

CAPÍTULO V

5 LEVANTAMENTO COMBINADO : ESTÁTICO - PSEUDO·CINEMÁTICO

5.1 INTRODUÇÃO

Nos levantamentos de redes GPS, isto é, três ou mais receptores rastreando simultaneamente os mesmos satélites, são determinadas as diferenças de coordenadas entre cada par de pontos (linhas de base) ocupados pelos receptores.

Se são utilizados os mesmos dados coletados de um ponto para determinar duas ou mais linhas de base concorrentes neste ponto, se obterão bases dependentes entre elas já que as observações usadas para as suas determinações são correlacionadas. É importante, ao efetuar o ajustamento das linhas de base, que estas sejam independentes, isto é, que as observações usadas para seu cálculo não estejam correlacionadas.

Até nossos dias, tem-se desenvolvido várias técnicas para o posicionamento com satélites GPS. Ante a disponibilidade de varios métodos, um levantamento pode ser otimizado através da aplicação conjunta destas técnicas, agilizando a obtenção de bases independentes no levantamentos de redes e permitindo uma maior produtividade.

Ao utilizar o método Estático no levantamento de um quadrilátero completo, isto é, 4 lados e suas diagonais, a etapa de coleta de dados se estenderia por um período de pelo menos 3 horas, para obter as 6 bases independentes. Para isto, seria dedicado cada período de uma hora de coleta de dados para determinar um par de bases não concorrentes entre elas.

No quinto ENECART [1], foi apresentada a idéia de aplicar o principio do método Cinemático nos levantamentos estáticos, com objetivo de obter linhas independentes com um mínimo de tempo de coleta de dados no campo. No XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, novamente foi apresentada esta idéia sob o título de "Método Estático-Cinemático", [2]. Com este método, para determinar as 6 bases independentes de um quadrilátero, seria necessario um período de somente 1 hora e 10 minutos de coleta de dados.

Resultados de um teste realizado para comparar o método Pseudo·Cinemático com o Estático, foi apresentado no Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura [4]. O teste consistiu na instalação de dois receptores GPS sobre dois pilares pertencentes à Base de Aferição de Distanciômetros Eletrônicos estabelecida pelo professor Alvaro Doubek da Univ. Fed. do Paraná.

A distância entre os pilares é aproximadamente de 600 metros . Nesta experiência, depois de ter coletado dados por um período de 5 minutos, um receptor foi desligado; voltou-se a ligar o receptor para coletar dados por um período de uma hora e novamente foi desligado. Por último, foi ligado o receptor para coletar outro período de 5 minutos de dados. Deste teste, surgiu a idéia de utilizar em forma combinada o método Estático e o Pseudo-Cinemático para obter linhas independentes nos levantamentos de redes GPS, reduzindo o período de tempo na etapa de coleta de dados. Assim, neste capítulo é feito um experimento combinando estes dois métodos para a obtenção das 6 bases independentes de um quadrilátero, para determinar a viabilidade no levantamento de redes.

No trabalho a ser apresentado no XV Congresso Brasileiro de Cartografia [13], coloca-se a importância da obtenção de linhas independentes no levantamento de redes, dando como alternativa a utilização do método "Estatico-Cinemático", abrangendo com este nome a combinação do método Estático com o Pseudo-Cinemático ou com o método baseado no princípio do Cinemático apresentado em [1], [2].

A seguir apresenta-se em forma resumida os métodos de levantamentos Estático, Cinemático, Pseudo-Cinemático e Estático-Cinemático para depois abordar a aplicação combinada dos métodos Estático e Pseudo-Cinemático.

5.2 MÉTODOS DE LEVANTAMENTO

As diversas técnicas para o posicionamento com GPS, já bastante difundidas, serão apresentadas de maneira sucinta considerando que existe um grande número de publicações onde têm sido tratadas com detalhe.

5.2.1 Método ESTÁTICO

Uma das características básicas deste método é que somente pode ser aplicado a pontos que permaneçam em estado estacionário durante a sessão de coleta de dados, que pode ser de alguns minutos no caso do uso do código, ou frequentemente superior a uma hora se for utilizado a informação de fase. Através deste método, pode-se realizar posicionamento absoluto (ou "por ponto") obtendo como resultado coordenadas absolutas, ou posicionamento relativo que fornece diferenças de coordenadas.

O posicionamento absoluto exige só um receptor e caracteriza-se pelo uso da informação de código (P ou C/A) para obter a posição de um ponto, que neste caso é obtida em tempo

real. Pode-se coletar um conjunto de posições para o ponto e adotar como valor final, por exemplo, aquele obtido com melhor geometria na configuração dos satélites, ou um valor determinado pela média ponderada (segundo a geometria) das posições calculadas para o ponto.

Para poder obter a posição tridimensional de um ponto é necessário coletar observações em forma simultânea de pelo menos quatro (4) satélites. Se conhecemos o valor da altitude geométrica do ponto ou se o usuário possuir um relógio de alta precisão, é possível realizar o posicionamento com a observação simultânea de três satélites.

No posicionamento relativo são necessários pelo menos 2 receptores. Na determinação de uma linha, pode ser utilizada a informação de código e/ou de fase. O uso do código, por fornecer a posição dos pontos em tempo real, permite obter em poucos minutos as posições dos 2 receptores, podendo-se posteriormente calcular a diferença de coordenadas entre os dois pontos. No posicionamento relativo, os mesmos satélites terão que ser observados simultaneamente por todos os receptores.

Existem fontes de erros que afetam igualmente a ambos receptores, por exemplo, erros orbitais, erros do relógio do satélite, refração atmosférica. Estes erros são eliminados ou diminuídos em grande parte ao utilizar o posicionamento relativo. A possibilidade de eliminar este tipo de erro é que o torna mais preciso que o posicionamento por ponto.

Ao utilizar a informação de fase no cálculo de uma linha de base, a precisão é muito maior que no caso do uso do código, assim, em geodésia trabalha-se com a informação de fase.

5.2.2 Método CINEMÁTICO

O método Cinemático é utilizado para efetuar posicionamento relativo. Permite determinar a posição de um ponto com extrema rapidez, bastando coletar dados por um período de tempo de aproximadamente 1-2 minutos (6-12 observações). Este método é o mais rápido desenvolvido até agora; por outro lado, é o que exige mais cuidados.

O método Cinemático demanda uma etapa de inicialização, que consiste em determinar as ambiguidades de fase (número inteiro de ciclos). Depois da etapa de inicialização, um receptor permanece fixo no ponto de coordenadas conhecidas e o outro desloca-se até um ponto a ser posicionado; depois de coletar 6-12 observações (1-2 minutos), desloca-se até um novo ponto a ser levantado. Uma exigência do método é manter ligado o receptor durante o traslado entre os pontos e não perder

a sintonia de pelo menos 4 satélites (os mesmos) desde a saída de um ponto até chegar no outro. Devido a esta exigência do método, a sua utilização torna-se restrita a áreas onde o traslado entre os pontos esteja livre de obstruções, permitindo manter-se a sintonia de pelo menos 4 satélites. Assim, recomenda-se aplicar este método em levantamentos de pontos próximos e utilizar janelas de observação com um mínimo de 5 satélites.

O método Cinemático tem a característica de acumular um "drift" que é linear com o tempo; se corrigido, permite obter resultados de alta precisão. Para determinar este "drift", o receptor "MÓVEL" tem que retornar ao ponto de partida. A correção é realizada proporcionalmente ao tempo e aplicada diretamente nas coordenadas determinadas.

A etapa de inicialização do método, que permite determinar as ambiguidades de fase, pode ser realizado das seguintes maneiras:

- a) Troca de antenas
- b) Método estático : 1 hora
- c) Observação de linha de base conhecida

a) Troca de antenas

Neste método, instala-se a antena de um receptor (que chamaremos de "FIXO") sobre um ponto "A" com coordenadas conhecidas e a antena do outro receptor (que chamaremos de "MÓVEL") num ponto "B" a uma distância pequena (10-20 metros), cujas coordenadas desconhecemos. Coleta-se dados por um intervalo de tempo de um minuto, em seguida desmonta-se as antenas dos tripés e trocam-se as antenas entre os dois pontos sem desligar o receptor, nem perder a sintonia dos satélites. Coleta-se novamente um minuto de observações, logo em seguida volta-se a trocar as antenas, ficando na posição original, sempre mantendo a sintonia dos satélites. Este método permite determinar rapidamente a linha de base em forma precisa, assim como também a ambiguidade. Em seguida o receptor "MÓVEL" desloca-se sem perder a sintonia de pelo menos 4 satélites, até o primeiro ponto a ser posicionado com o método Cinemático.

b) Método estático : uma hora

Este método consiste em determinar a linha de base e as ambiguidades através do método estático. Para isto devemos instalar um receptor ("FIXO") num ponto com coordenadas conhecidas e outro ("MÓVEL") num ponto com coordenadas desconhecidas. São coletadas observações de pelo menos 4 satélites por

um intervalo de tempo de no mínimo uma hora. Em seguida o receptor "MÓVEL" desloca-se sem perder a sintonia de pelo menos 4 satélites, até o primeiro ponto a ser posicionado com o método Cinemático.

c) Observação de base conhecida

Este método requer o conhecimento de uma linha de base com exatidão de centímetro (ao nível de 2 ppm). Conhecendo a linha de base com este nível de acuracidade, basta coletar 1-2 minutos de dados comuns. Logo em seguida um receptor pode deslocar-se, sem perder a sintonia de pelo menos 4 satélites, até o primeiro ponto a ser posicionado com o método Cinemático.

5.2.3 Método ESTÁTICO-CINEMÁTICO

Este método baseia-se nos mesmos princípios do método Cinemático, isto é, que os valores das ambiguidades não mudam com o tempo desde que os receptores mantenham a sintonia do sinal dos satélites. Assim por exemplo, para obter 6 bases independentes de um quadrilátero completo, utiliza-se uma hora de observações para determinar um par de bases não concorrentes, assim como também as ambiguidades inteiras. Para determinar as outras 4 bases, basta utilizar um período de 5 minutos de observações para calcular cada par de bases não concorrentes. Desta maneira, com um período de 1 hora e 10 minutos de observações, obter-se-ia as 6 bases independentes, [2].

5.2.4 Método PSEUDO-CINEMÁTICO

O método Pseudo-Cinemático é utilizado para efetuar posicionamento relativo. Um receptor chamado de " FIXO " é instalado num ponto com coordenadas conhecidas, e outro chamado de " MÓVEL " é instalado no ponto a ser posicionado. O receptor " MÓVEL " coleta aproximadamente 5 minutos de dados em cada novo ponto. Este método exige que cada ponto seja reobservado por 5 minutos após uma hora do primeiro intervalo de 5 minutos de coleta de dados. Deverão ser observados os mesmos satélites (ao menos 4 deles) nas duas visitas efetuadas ao mesmo ponto. O intervalo de uma hora entre a coleta de dados para um ponto é para garantir uma mudança na geometria da configuração de satélites da janela de observação, facilitando assim, a determinação das ambiguidades.

Neste método, ao contrário do Cinemático, não precisa de inicialização e por outro lado, não exige que se mantenha a sintonia dos satélites, tanto assim, que o receptor pode ser desligado durante o traslado para outro ponto.

O método Pseudo-Cinemático é utilizado para o levantamento de pontos relativamente próximos, em áreas onde o método Cinemático não pode ser aplicado devido a possíveis perdas de sinal durante o trajeto entre os pontos.

Já que o método exige a reocupação de cada ponto depois de transcorrido um intervalo de uma hora, após a primeira ocupação, torna-se viável desde que tenha-se disponível ao menos uma longa janela de observação. Com o lançamento de novos satélites, as atuais janelas de observação serão ampliadas, permitindo mostrar todo o potencial deste método, que será sem dúvida alguma um dos mais utilizados.

5.3 APLICAÇÃO COMBINADA DOS MÉTODOS ESTÁTICO E PSEUDO - CINEMÁTICO

Como foi mencionado na introdução deste capítulo, efetuou-se um experimento para testar a viabilidade da aplicação combinada dos métodos Estático e Pseudo-Cinemático, visando diminuir o tempo de coleta de dados no campo, para a obtenção de linhas independentes no levantamento de um quadrilátero com suas diagonais.

Numa linha independente, as observações que foram processadas para sua determinação, não são utilizadas para o cálculo de nenhuma outra, evitando assim, uma correlação entre as linhas.

5.3.1 Janelas de observação

Para esta experiência, foram utilizados dados coletados no levantamento da rede apresentada no capítulo IV. Assim, as janelas de observação são as mesmas da tabela 5, que a seguir novamente se apresenta

Tabela 5 Janelas de observação.

JANELA	HORA DESDE	LOCAL ATE	SATÉLITES UTILIZADOS
A	07:00	09:00	2- 6-16-18-19
B	15:00	17:00	3-12-16-17-20
C	19:00	20:40	3-17-21-23

Considerando que a janela "A" da tabela 5 apresentou um período superior a 1.5 horas com 5 satélites decidiu-se optar por um quadrilátero levantado durante este período.

5.3.2 Tempo de rastreio

O conjunto de observações utilizadas neste experimento corresponde a um intervalo de 1 hora e 47 minutos de rastreio de 5 satélites. Este intervalo está compreendido entre as 07hr 05 min e as 08 hrs e 52 min (hora local) do dia 05/01 (primeiro quadrilátero levantado na rede, definido pelos vértices 4-7-8-22).

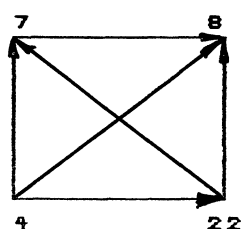
5.3.3 Processamento de dados

Para o processamento dos dados foram utilizados os programas relativos aos métodos Estático e Pseudo-Cinemático do software da ASHTECH.

O período de 1 hora 47 min de observações, foi dividido em 5 sub-intervalos. Os dois primeiros com 10 minutos, o terceiro de 1 hora 07 min e os dois últimos de 10 min cada. Assim os sub-intervalos foram definidos da seguinte forma

sub-intervalo	desde	até
1	7:05:00	7:15:00
2	7:15:15	7:25:15
3	7:25:30	8:32:00
4	8:32:15	8:42:00
5	8:42:15	8:52:15

No método Pseudo-Cinemático é necessário ter dois conjuntos de observações coletados em intervalos de tempo separados entre eles, pelo menos por uma hora. Desta forma, para o processamento Pseudo-Cinemático das bases 4→7 e 22→8, foram utilizados os dados coletados nos sub-intervalos 1 e 4, enquanto que para determinar o outro par 4→8 e 22→7 utilizaram-se o segundo e o quinto sub-intervalo como indica o quadro



SUB - INTERVALOS				
1	2	3	4	5
4→7 22→8	4→8 22→7	4→22 7→8	4→7 22→8	4→8 22→7

5.3.4 Resultados

Os resultados obtidos do processamento dos dados apresentam-se resumidos na tabela 13.

TABELA 13 RESULTADOS : Método Estático - Pseudo-Cinemático

LINHA BASE	MÉTODO DE POSICION.	DIST. km	DIFERENÇAS DE COORDENADAS (m)		
			Δx	Δy	Δz
4→7	Pseudo-C.	2.47	1163.2300	1812.1872	-1220.2074
22→8	Pseudo-C	4.20	3451.9791	2288.5847	692.5076
4→8	Pseudo-C	3.47	337.0324	2185.8682	-2680.0222
22→7	Pseudo-C	5.16	4278.1739	1914.9043	2152.3235
4→22	Estático	4.59	-3114.9495	-102.7129	-3372.5283
7→8	Estático	1.72	-826.2008	373.6859	-1459.8160

5.3.5 Análise dos resultados

Partindo-se do princípio que podemos considerar cada linha como independente, podemos ter uma idéia da consistência interna do levantamento através do fechamento dos triângulos formados pelas 6 bases. Na tabela 14 apresenta-se o erro de fechamento obtido em cada triângulo levantado.

TABELA 14 Erros de fechamento: Método Estático-Pseudo-Cinemático

TRIANGULO	PERÍMETRO EM KM	ERRO DE FECHAMENTO (cm)				PPM
		d_x	d_y	d_z	d	
4- 7-8	7.67	0.32	0.49	0.12	0.60	0.8
4-22-7	12.22	0.56	0.42	0.26	0.75	0.6
4-22-8	12.27	0.28	0.36	0.15	0.48	0.4
22- 7-8	11.07	0.60	0.55	0.01	0.81	0.7

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSÕES

a) Os algoritmos apresentados para serem aplicados a redes com geometria areal, fazem com que sejam feitas bases longas, unindo os extremos da rede, podendo dificultar o desenvolvimento normal do levantamento ao ter que efetuar "grandes" deslocamentos entre uma sessão e outra. Este aspecto agrava-se em termos de logística, se cada equipe não conta com viatura própria para se locomover. O ideal é que cada equipe conte com meios de locomoção próprios.

b) Teoricamente a somatoria vetorial dos lados de um triângulo deveria ser zero. Observou-se na tabela 8 do capítulo 4 que todos os triângulos formados no levantamento da rede tiveram valores muito próximos de zero com exceção de três triângulos observados na segunda sessão do dia 06. Por outra parte, no processamento das diferentes bases da rede, foi possível fixar as ambiguidades como inteiras em todos os casos, exceto nas linhas

i) 20→22

ii) 21→22

Ambas as linhas fazem parte dos triângulos com valores altos no erro de fechamento, portanto pode-se concluir que essas linhas são as responsáveis por esse erro. Desta maneira, estas duas linhas não foram consideradas para o ajustamento da rede.

c) As diferenças obtidas entre os valores das bases repetidas mesmo encontrando-se dentro da tolerância que o objetivo da rede exige, foram consideravelmente maiores do que rotineiramente se tem obtido em outros levantamentos. Este fato motivou o exame das hastes onde é instalada a antena GPS. Detectou-se que em uma das hastes, o nível de bolha que é utilizado para deixá-la vertical sobre o ponto, tinha-se soltado o parafuso de fixação, admitindo um movimento que traduzido em posição horizontal à altura da antena, atingia valores de até 26 milímetros. Numa outra haste o nível de bolha encontrava-se descalibrado, atingindo um erro na posição horizontal de 1 cm à altura da antena. Obviamente este tipo de erro é significativo em termos de erro relativo em distância expresso em ppm quando as distâncias entre os pontos são pequenas como no caso da re-

de apresentada, onde a distância média entre pontos é aproximadamente 2.5 quilômetros. Isto demonstra que deve-se fazer uma revisão periódica do instrumental de campo, isto é, verificar o nível de bolha das hastes para garantir a verticalidade destas e portanto, a correta posição da antena sobre o ponto. No caso de instalar a antena sobre base nivelante com prumo ótico, verificar seu correto funcionamento.

d) As tabelas 14 e 15 mostram o fechamento dos triângulos formados pelos lados do quadrilátero 4→7→8→22 e suas diagonais. Pode-se verificar que o erro de fechamento foi menor no caso da aplicação do método combinado de posicionamento, isto se deve a que neste caso não está presente o erro cometido na instalação da antena sobre o ponto já que não foram reinstaladas as antenas sobre os pontos para separar as observações que seriam utilizadas no método Estático ou Pseudo-Cinemático. A separação destas observações foi feita na etapa de processamento de dados, ficando portanto isentas do erro de instalação sobre o ponto.

e) No capítulo quinto, ao analisar os resultados obtidos usando em forma combinada os métodos Estático e Pseudo-Cinemático, podemos concluir que não houve nenhum erro grosseiro nas linhas de base que compõem a figura utilizada e que o levantamento do quadrilátero apresenta uma boa consistência interna.

f) Através do experimento apresentado no capítulo quinto, fica demonstrada a viabilidade do uso combinado de métodos de posicionamento para obtenção de linhas independentes com um tempo de coleta de dados consideravelmente reduzido se comparado com a utilização unicamente do método estático. É necessário observar que futuramente teremos a possibilidade de contar com maiores janelas de observação com 5 ou mais satélites, apresentando uma melhor geometria e fazendo mais viável a utilização não só do método Pseudo-Cinemático como também do Cinemático.

g) A utilização de um certo número de receptores num levantamento poderá ser otimizada através da aplicação em forma combinada dos diversos métodos de posicionamento. Tal otimização vai-se traduzir numa maior produtividade e economia de tempo na etapa de coleta de dados no campo, diminuindo desta forma os custos do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ANDRADE, J.B.; GEMAEL, C. Sistema de Posicionamento Global: NAVSTAR-GPS. 5 º ENECART. Presidente Prudente, S.P. Julho, 1988.
- 2 _____ ; _____. Métodos de Posicionamento Geodésico com GPS. XIV Congresso Brasileiro de Cartografia. Gramado, RS. 1989.
- 3 ANDRADE, J. B. NAVSTAR-GPS. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1988.
- 4 _____. Primeiras Experiências no Brasil com o Método " Pseudo-Cinemático " de Posicionamento por GPS. Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura. Teresina, _____. Outubro, 1989.
- 5 ASHTECH, INC. GPS Pós-Processing System Manual. First edition, June 1990.
- 6 CAMPOS, M.; SEEBER, G. Relatório final da Primeira campanha GPS no Brasil. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1988.
- 7 HOTHEM, L.; GOAD, C.; REMONDI, B. GPS Satellite Surveying Practical Aspects. The Canadian Surveyor. Vol. 38, # 3 1984.
- 8 KING, R.W. et al. Surveying with GPS. School of Surveying The University of New South Wales. Kensington, N.S.W. Austrália. 1985.
- 9 SEEBER, G. The Global Positioning System and its use in Geodesy and Geodynamics. Lectures at Institute of Seismological Bureau. Wuhan, China. 1986.
- 10 SNAY, R.A. Network design strategies applicable to GPS surveys using three or four receivers. Bulletin Geodésique, nº 60. 1986.

- 11 SPILKER, J.J. GPS signal structure and performance characteristics. In: Global Positioning System. Trabalhos publicados em NAVIGATION, reimpressos pelo (U.S.) Institute of Navigation. Vol I, 1980.
- 12 WELLS, D. Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates New Brunswick, Fredericton, Canadá. 1986.
- 13 ZUNINO, L.J. A.; ANDRADE, J.B.; ANDRADE, R.R.; SOUTO, R.B. Levantamentos com GPS. Trabalho a ser apresentado no XV Congresso Brasileiro de Cartografia. São Paulo, S.P. Julho, 1991.